

W. Bruns, A. Heimbucher, D. Müller

**Ansätze einer erfahrungsorientierten Gestaltung
von Rechnersystemen für die Produktion**

Exemplarische Darstellung der Bereiche
Konstruktion und Fertigung

artec Arbeitspapier 21, März 1993

1. Einleitung und Problemlage	3
2. Behandlung der Dimensionen Erfahrung und Sinnlichkeit in vorfindlichen Systemgestaltungsansätzen	7
2.1 Vorbemerkung	7
2.2 Allgemeine Ansätze	7
2.2.1 Benutzungsoberflächen	7
2.2.2 Gestaltungsmethoden	8
2.3 Anwendungsspezifische Ansätze	9
2.3.1 Fertigungsbereich	9
2.3.2 Konstruktionsbereich	10
2.4 Technikspezifische Ansätze	12
2.5 Folgerungen und Ausblick	13
3. Orientierungsrahmen der eigenen Entwicklungsarbeit	15
3.1 Adressaten	15
3.2 Die Werkstatt	15
3.2.1 Tätigkeiten in der Werkstatt	15
3.2.2 Gegenstände in der Werkstatt	27
3.3 Die Kunst	31
3.4 Die Ingenieurwissenschaften	35
3.5 Informatikkonzepte	36
4. Ansätze, Bausteine, Fragmente	39
4.1 Ansatz einer Werkstattperspektive	39
4.2 Prototypische Realisierungen	43
4.2.1 Prototyp: Werkstatt-Layoutplanung mit Modellen	43
4.2.2 Prototyp eines vielseitigen Produktionssimulators	46
4.2.3 Untersuchungen zur visuellen Darstellung, Orientierung und Interaktion	53
Literatur	61

1. EINLEITUNG UND PROBLEMLAGE

Dieses Papier stellt eine Momentaufnahme unserer Arbeit an neuen Formen des Umgangs mit Rechnersystemen unter dem Blickwinkel ihres Einsatzes in der Werkstatt dar. Es ist kein abgeschlossenes Papier, es enthält Ideen, Fragmente, Ansätze, aber auch die Darstellung bereits realisierter Bausteine. Es ist offen und soll zur Mitgestaltung anregen. Wir haben uns für diese halboffizielle Form entschieden, weil wir den Gesamtrahmen unserer Arbeiten uns selbst und unseren Kolleginnen verdeutlichen wollen. Dieses Vorgehen entspricht unserem iterativen, experimentellen Entwicklungsansatz.

Es werden Überlegungen vorgestellt, die einen Weg weisen könnten, die Rechnernutzung, welche eher an einer Schreibtisch Tätigkeit mit den charakteristischen Merkmalen des Textverarbeitens, Ordnen, Archivierens, Kalkulierens usw. orientiert ist, zu erweitern um eine Rechnerunterstützung der Arbeiten in der Werkstatt, die durch die Merkmale des Produzierens, des Konstruierens, Gestaltens, Detaillierens, Prozeßplanens, Fertigen, also des Form-, Funktion- und Stoffbildenden charakterisiert sind. Hiermit soll ein Beitrag geleistet werden, die Konturen einer Werkstattmetaphorik zu umreißen.

Der vorgestellte Ansatz ist in zweifacher Hinsicht erfahrungsorientiert, erstens ist es das Ziel, Rechnersysteme, die die Arbeitsverhältnisse von Menschen in der Werkstatt verändern, stärker auf deren vorhandene Erfahrungen auszurichten, zweitens ist unser eigenes Vorgehen in diesem Projekt von dem Leitgedanken geprägt, die Dinge zu gestalten, mit denen wir selbst praktische, berufliche Erfahrungen im konventionellen Umgang gemacht haben, als Facharbeiter, Lehrer, Designer, Maschinenbauer. Gestaltung verstehen wir als eine bewertende Anpassung eines Wirkungsprinzips (als entmaterialisierte Konstruktion) an Natur-, Produktions- und soziale Verhältnisse.

Besondere Probleme im Umgang mit Rechnern in der Produktion werden immer wieder den Dimensionen *Arbeitsteilung*, *Erfahrungsorientierung*, *Handhabbarkeit*, *Sinnlichkeit*, *Unmittelbarkeit* zugeschrieben. Diese sollen deshalb kurz dargestellt werden.

Reintegration von Arbeit

Arbeitsteilung und Arbeitshierarchisierung kann durch eine defizitäre Technik verfestigt werden. Dies gilt auch für den Bereich rechnergestützter Facharbeit. Hier werden verschiedene Phasen der Produktion, wie das Entwickeln, das Konstruieren, das Fertigen mit jeweils spezifischen Hilfsmitteln, wie CAE (Computer Aided Engineering)-, CAD (Computer Aided Design)- und CNC (Computer Numerical Control)-Systemen unterstützt, deren gegenseitige Kopplungsmöglichkeiten nicht die Freiräume zulassen, welche eine Reintegration der durch Arbeitsteilung zerstückelten Tätigkeiten ermöglichen. So führt eine rechnergestützte Konstruktion zu einem Produktabbild, der Geometriestruktur, welches der Fertigung übergeben wird und als Grundlage der nachfolgenden Steuerprogrammerstellung dient. Das Steuerprogramm ist dann ein weiteres Produktabbild. Änderungen in nur einem Abbild führen zu Inkonsistenzen zwischen den beiden Sichten, die aufzuheben sind. Es wird eine organisatorische Lösung gefunden, die die Unzulänglichkeiten der Technik, nämlich von einem Produktkonzept jeweils nur isolierte Sichten und Veränderungshilfsmittel anzubieten, kompensiert. Hierdurch wird aber eine hierarchische Verantwortungsstruktur CAD --> CNC begünstigt und verfestigt. Eine Kompetenz- und Aufgabenerweiterung des Fertigungstechnikers in Richtung

Konstruktion ist technikstrukturell erschwert, denn eine Veränderung der Geometriestruktur kann nur an speziell dafür ausgerüsteten Arbeitsplätzen erfolgen. Die Fesselung des Konstrukteurs an sein Arbeitsgerät, die des Fertigungstechnikers an das seine und die datentechnische Einfachheit, mit der größere Entfernungen überbrückt werden können, führen zwar zu einer Integration der Rechner, selten aber zu einer Integration menschlicher Arbeit.

Dieses Beispiel zeigt ein Problem auf, das zwischen vielen Arbeitsbereichen der Produktion auftritt und durch Normungsempfehlungen, wie sie von der Kommission DIN-KCIM 1989 ausgesprochen werden, nicht thematisiert wird. Etwas überspitzt kann man formulieren: In dem Moment, in dem bestimmte Arbeiten Rechnerunterstützung erfahren, verlieren sie ihre Reintegrationsfähigkeit mit anderen Arbeiten. Auf die besondere Bedeutung des Rechnereinsatzes für die Organisation und Reorganisation von Arbeit weist Coy [Coy 1992] hin.

Erfahrungs- und Qualifikationsorientierung

Neue rechnergesteuerte technische Geräte, wie CAD-Systeme für das technische Zeichnen und CNC-Werkzeugmaschinen für das Fertigen von Teilen, erzwingen häufig einen Bruch in den Nutzungsgewohnheiten, Erfahrungen und Qualifikationen der Menschen, die diese Geräte für Zwecke einsetzen, die sich nur wenig verändert haben, z. B. das Fertigen eines Drehteils. Diese Brüche können für ältere und erfahrene Facharbeiter eine erhebliche Belastung darstellen und zur Ablehnung dieser Technik oder ihrer eigenen Ausgrenzung aus dem Produktionsprozeß führen. Der besondere Wert der verlorengehenden Erfahrungen wird erst festgestellt, wenn sie der nachfolgenden Generation fehlen. Ehn fordert deshalb von Werkzeugen, daß sie es dem Werker ermöglichen, beim Übergang von einer Generation zur nachfolgenden, die erworbenen Erfahrungen und Qualifikationen zu erhalten [Ehn 1984].

Diese Forderung wird bei rechnergesteuerten Geräten sehr häufig verletzt. Wingert und Riehm weisen darauf hin, daß der Einsatz eines CAD-Systems eine völlig andere Art der Geometrieingabe und -verarbeitung als das Zeichnen am DIN A0-Zeichenbrett erfordert (vgl. [Wingert & Riehm 1985]). Welche Bedeutung das stofflich-sinnliche Umgehen mit dem Zeichenmaterial für die Imagination und welche Bedeutung das frei zugängliche und einsehbare Zeichenbrett für die Kommunikation von Konstrukteurinnen hat, wird zunehmend erkannt.

Handhabbarkeit und Steuerbarkeit

Winograd und Flores führen zum Umgang mit Computern aus, und es lohnt sich, hier ein längeres Zitat zur Kenntnis zu nehmen [Winograd und Flores 1989: 270 f.] :

"Der Programmierer entwirft das Sprachumfeld und erzeugt damit die Welt, in der Benutzer agieren. Diese Sprache kann 'ontologisch einwandfrei' sein oder ein Durcheinander verknüpfter Bereiche. Eine übersichtlich und systematisch aufgebaute Ontologie bildet das Fundament für die Art von Einfachheit, die Systeme für ihre Benutzer brauchbar macht. Wenn wir z. B. versuchen, die Anziehungskraft zu begreifen, die Computer wie der Apple/Macintosh (und dessen Vorläufermodell STAR von Xerox)

ausüben, so stoßen wir auf die gleiche Art von Zuhandenheit und ontologischer Unkompliziertheit, die wir gerade beschrieben haben. Innerhalb der relevanten Arbeitsbereiche erlauben sie dem Benutzer die durch keine weitere Ebene des Computersystems gestörte problemlose Handhabung von Text und Grafik – der Benutzer kann das System 'fahren', er ist nicht in der Rolle eines 'Kommandeurs', der das System erst durch Befehle in Gang setzen muß. Die nächste Generation von Systementwürfen muß sich der Herausforderung stellen, dieselbe Effektivität über den Bereich der Oberflächenstrukturen von Wort und Bild hinaus in Bereiche zu verlängern, die dadurch gebildet werden, daß Menschen solche Strukturen manipulieren."

Dieses gilt in besonderem Maße für den Werkstattbereich, in dem rechnerinterne Strukturen eine starke externe, materialbezogene Bedeutung und Wirkung bekommen. Heutige rechnergesteuerte Maschinen und Anlagen werden häufig nur noch vermittelt betrieben und sind vom direkten Kontroll- und Steuerzugriff des Menschen abgekapselt. Undurchschaute Prozesse können aber zu einer Abhängigkeit und Dequalifizierung führen, die in Ausnahmesituationen, wie Störfällen, zu erheblichen Gefahren führen können.

Sinnlichkeit

Das Arbeiten mit heutigen Rechnersystemen bedeutet für handwerklich, form- und stoffverändernde Menschen gewöhnlich eine erhebliche Einschränkung der Sinne. Die von Budde und Züllighoven [Budde & Züllighoven 1990] getroffene Aussage, Softwarewerkzeuge erweiterten unsere Sinne, weil sie die Strukturen von Algorithmen wahrzunehmen erlauben, mag für solche Menschen zutreffen, die in diesen abstrakten Symbolwelten zu Hause sind, für den materialorientierten Menschen sicherlich nur eingeschränkt. Viel gravierender und nachteiliger sind die Einschränkungen, die dadurch erfolgen, daß das Handeln und Wahrnehmen tendenziell auf Eingabetastaturen, optische Ausgaben und kognitive Prozesse reduziert wird. Die besonderen Fähigkeiten des Menschen, die Umwelt über mehrere, redundante Sinnesempfindungen zu erfahren und so ein sensibles, sicheres Prozeßabbild in sich zu konstruieren, geht verloren.

Unmittelbarkeit

Rechnergesteuertes technisches Gerät enthält zahlreiche Vermittlungsstufen zwischen der Aktion des Menschen, der Wirkung des Gerätes und der Reaktion des Prozesses: Tastendruck, Eingabesignal, Interfacebaustein des Rechners, Steuerungsalgorithmus, Ausgabebaustein, physikalischer Umwandlungsmechanismus, Wirkmechanismus. Die Beherrschung von Technik geht in dem Maße verloren, in dem diese Vermittlungsformen uneinsichtig werden und der Mensch trotzdem auf sie angewiesen ist. Im Bürobereich ist es eine gängige Erfahrung, daß ein Text, der gespeichert wurde, nicht mehr gefunden wird, weil die Zugriffsmittel zu ihm nicht einsichtig sind und nicht beherrscht werden. Dies gilt im Werkstattbereich auch für das technische Zeichnen. Zwar ist Unmittelbarkeit des Handelns und Wahrnehmens nur eine theoretische Kategorie, Vermitteltheit durch technisches Gerät aber eine häufig überflüssige Praxis.

Unsere Ausgangshypothese ist: die Dimensionen Erfahrung und Sinnlichkeit werden zwar oft thematisiert, es fehlt aber an Konzepten, wie verlorengegangene Unmittelbarkeit und Konkretheit in den Arbeitsprozeß zurückgeholt werden können.

Eine bisher vorherrschende Tendenz, Produktionsarbeit und die Gestaltung komplexer Systeme durch Rechner zu unterstützen, war durch den Vorsatz geprägt, alles, was automatisierbar ist, auch zu automatisieren (siehe das Selbstverständnis der ACM-Informatik in den USA). Dies birgt die Gefahr, wichtige Voraussetzungen für das kreative manuelle und geistige Arbeiten, wie die Gewöhnung, das routinierte Arbeiten, die Zerstreuung, durch eine verdichtete hochkonzentrierte Arbeit zu ersetzen, die keinen Platz läßt für das Träumen, das Assoziieren und damit das Entstehen neuer Ideen. Die vorliegende Arbeit stellt einen Versuch dar, die in der industriellen Produktionsgesellschaft getrennten Bereiche Technik, Wissenschaft und Kunst eine Stück wieder zusammenzurücken.

Folgt man Mumford [Mumford 1964], so befindet sich der Mensch heute in einem Übergangsstadium von der Werkzeug- und Waffenbenutzung mit dem Ziel, die Natur zu besiegen, zur weitestgehenden Ablösung vom organischen Lebensraum. Der Computer spielt hierbei eine zentrale Rolle. Dieser Ablösung wollen wir entgegenwirken. Es geht uns um die Rolle des Rechners in Verbindung mit unseren bisher eher handwerklichen und sinnlichen Wahrnehmungen und Tätigkeiten. Dieser soll uns in der Werkstatt eher hilfreich im Rücken stehen als im Wege, uns Freiheitsgrade und Distanz ermöglichen und nicht an sich fesseln und Realität ersetzen.

"Man kann sich eine Zukunft vorstellen, in der wir nicht alles machen, von dem wir wissen, wie es gemacht wird, sondern in der unser Hauptinteresse an der Wissenschaft und am Entwerfen in den Erfahrungen liegen wird, die sie uns über die Welt vermitteln und nicht in den Dingen, die sie uns erlauben der Welt anzutun." [Simon 1981]

2. BEHANDLUNG DER DIMENSIONEN ERFAHRUNG UND SINNLICHKEIT IN VORFINDLICHEN SYSTEMGESTALTUNGS-ANSÄTZEN

2.1 Vorbemerkung

In diesem Kapitel werden allgemeine, anwendungsspezifische sowie technikspezifische Ansätze und Reflexionen vorgestellt, die mit dem Thema Erfahrung und Sinnlichkeit im Rahmen der Systemgestaltung zu tun haben. Auf eine detaillierte Darstellung der umfangreichen Literatur zur Systemgestaltung verzichten wir hier, verweisen stattdessen auf einige uns besonders relevant erscheinende Arbeiten.

2.2 Allgemeine Ansätze

2.2.1 Benutzungsoberflächen

Hampe-Neteler und Rödiger [Hampe-Neteler & Rödiger 1992] geben einen aktuellen Überblick über Standards zur Entwicklung von Benutzungsoberflächen. Einige davon sollen angesprochen werden.

Foley [Foley et al. 1990] zielt beim Entwurf eines Systems auf die Erhöhung von

- Lerngeschwindigkeit
- Benutzungsgeschwindigkeit
- Zuverlässigkeit
- Erinnerungsfähigkeit
- Benutzungsattraktivität.

Die DIN-Norm 66234 Teil 8 geht von *einem* Benutzerbild aus. Diesbezüglich werden gefordert

- Erwartungskonformität, also die aus Erfahrung resultierende Erwartung,
- Steuerbarkeit, als Auswahl und Reihenfolge von Arbeitsmitteln.

Der ISO-Standard 9241 Part 10 betont darüber hinaus den Aspekt der Individualisierbarkeit.

Die Apple Human Interface Guidelines [Apple Human Interface Guidelines 1987] enthalten einen Hinweis auf Erfahrungsorientierung durch ihre Forderung nach der Verwendung von Begriffen aus der "realen Welt" und nach einer Konsistenz zwischen verschiedenen Anwendungen. Sie haben die Erfahrungsorientierung ansatzweise auch praktisch in ihrem Metaphernkonzept realisiert, das sich an der Schreibtischarbeit orientiert (Desktopmetapher).

Carrol und Thomas [Carrol & Thomas 1982] weisen darauf hin, daß ein Mensch-Maschine-Interface Design immer implizit auch ein psychologisches Modell beinhaltet, daß aber viele Entwürfe auf völlig inadäquaten kognitionspsychologischen Modellen beruhen, z. B. Lernen von Assoziationspaarverbindungen oder Strukturlernen. Als ein möglicherweise weiterreichendes Konzept schlagen sie das metaphorische Lernen vor, das

sie besonders bei Computeranfängern untersuchen. Als metaphorisches Lernen bezeichnen sie das Begreifen und Denken neuer Konzepte in den Begriffen alter Konzepte. Ihr Augenmerk richten sie insbesondere auf die metaphorischen Erweiterungen (Übergänge) von einem strukturellen Anwendungsfeld in ein anderes. Bei Anfängern stellen sie eine starke Abhängigkeit des Lernerfolges von der Wahl der Metaphorik fest. Die Wirkung der Metaphern ist dabei extrem abhängig von den Vorerfahrungen, also der Orientierungsfähigkeit der Nutzer. Einige Empfehlungen bezüglich der Wahl und des Einsatzes von Metaphern sind:

- Kongruenz, als partielle Stimmigkeit zwischen Metapher und Anwendungsgebiet,
- Breite, je mehr Aspekte eines Systems durch eine einzelne Metapher abgedeckt werden, desto besser,
- Emotionalität, als Unterstützung der Stimmung,
- Beschränktheit, als Eigenschaft jeder Metapher, auf die der Nutzer hingewiesen werden sollte,
- Unangemessenheit, die im Laufe der Nutzung und damit Erfahrungsänderung entstehen kann und die frühzeitig berücksichtigt werden sollte,
- Brücken von einer Metaphorik zur anderen.

2. 2. 2 Gestaltungsmethoden

Es existieren einige Ansätze für Softwareentwicklungsmethoden, in denen der Erfahrungsbezug implizit enthalten ist.

Der "Human Centered Approach" der dänischen Gruppe um Læssøe [Læssøe & Rasmussen 1989] versucht bewußt, auf eine objektive externe Beziehung zum Forschungs- und Entwicklungsgegenstand zu verzichten und fordert das Einbringen der subjektiven Aspekte aller Beteiligten.

Die Handlungsempfehlung des VDI zur sozialverträglichen Gestaltung von Automatisierungsvorhaben [VDI 1989] sieht in einem Dualen Entwurf ein zyklisches Wechseln zwischen einer technischen und einer tätigkeitsorientierten Sicht vor.

Floyd sieht im Softwareentwurf eine Realitätskonstruktion und orientiert sich am Konstruktivismus von Maturana [Floyd 1989]. Sie fordert ein Gespür für das Potential der Realisierungsmittel und eine Sensitivität für die sich wandelnden Anliegen der Anwendung.

Auch in dem Ansatz von Winograd und Flores [Winograd & Flores 1989] ist ein deutlicher Einfluß des Maturanaschen Konstruktivismus sichtbar.

2.3 Anwendungsspezifische Ansätze

2.3.1 Fertigungsbereich

Ein interessantes Beispiel für ein System, das aufgrund der vorhandenen Facharbeiterqualifikationsstruktur für unterschiedliche Vorerfahrungen von Anwendern ausgelegt ist, ist die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) für Automatisierungsgeräte. In diesem Bereich werden drei völlig verschiedene Programmierarten angeboten, die Funktionsplanprogrammierung, die sich an den Elektroniker wendet, die Kontaktplanprogrammierung für den Elektriker und die Anweisungsliste, die sich an den Programmierer wendet. Einige Anbieter von SPS-Systemen bieten eine Brückenfunktion zwischen diesen drei Systemnutzungsarten an.

Das Bundesförderprogramm zur werkstatorientierten Programmierung (WOP) hatte die Entwicklung von CNC-Programmiersystemen, die besonders an den unterschiedlichen Erfahrungen der Facharbeiter in der Werkstatt orientiert waren, zum Ziel.

Böhle und Milkau [Böhle & Milkau 1988] stellen auf der Grundlage zahlreicher Fallstudien aus dem Bereich der Werkstattarbeit an konventionellen und rechnergesteuerten Werkzeugmaschinen die Bedeutung der sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozeß dar und weisen auf die Gefahren für die Beherrschung technischer Prozesse bei zunehmender Entsinnlichung in der automatisierten Fertigung hin.

Bolte und Martin [Bolte & Martin 1992] differenzieren diese Aussagen weiter, indem sie auf einige Faktoren hinweisen, die für ein subjektivierendes Arbeitshandeln im Gegensatz zur Objektivierung des Arbeitsprozesses förderlich sind:

- Einheit von Prozeßplanung und Programmierung ,
- möglichst direkte Prozeßwahrnehmung trotz Verkapselung,
- Ausprobieren und Austesten von Steuerprogrammen als Voraussetzung für die Erfahrungsgewinnung,
- Rückkopplung des Prozeßverhaltens zur Handsteuerung beim Einfahren und Optimieren der Anlage,
- Analogeingaben (Handräder) statt Digitaleingabe (Tasten).

Sie zeigen auf, wo Ansätze für eine Verbesserung technischer Komponenten sinnvoll wären:

- Verbesserung der sinnlichen Wahrnehmung,
- Sensoren zur Beurteilung der Schnittgeschwindigkeiten,
- Übernahme von Override Werten und Kommentaren,
- Integration von Automatik und Handbetrieb,
- Bessere Prozeßüberwachung, Transparenz,
- Differenzierte Eingriffsmöglichkeiten,
- Bessere Fehler- und Störungstransparenz,
- Weniger Arbeitsteilung,
- Zugänge und Fenster zum Prozeßgeschehen,
- Neuartige Technikwahrnehmung (Klangbilder, Wärmebilder usw.).

Böhle und Rose [Böhle & Rose 1992] untersuchen die Bedeutung von Erfahrungswissen auch im Bereich der Prozeß- und Fertigungsleittechnik. Die Reduktion der Instrumentenvielfalt, die Konzentration auf wenige, nacheinander aktivierbare Bildschirme hat zu einem partiellen Verlust von Prozeßüberblick geführt. Nachteilig wirkt sich die Distanz zu den Prozeßanalgen aus. Ein nicht zu unterschätzender Faktor ist die Begrenzung und Spezialisierung der Sinne. Die Mediatisierung der Verhältnisse verändert in erheblichem Maße den Inhalt von Information, die Art ihrer Wahrnehmung, die Interpretation und ihre Beurteilung. Die Autoren fordern daher, wieder den Bezug zwischen Information, Objekten und Prozeß herzustellen. Dieser Bezug muß nicht über eine geometrische Entsprechung hergestellt werden, wichtig wäre aber eine funktionale Stimmigkeit. Die Anlagenfahrer, deren Eingriffsmöglichkeit in den automatischen Prozeß in hohem Maße verwissenschaftlicht ist, positionieren nicht mehr von Hand Werkzeuge, sondern hantieren Daten, um Stellgrößen zu verändern. Diese atomistische, elementarisierte Interventionsstruktur gilt es durch eine Erweiterung des Aufgabenfeldes und durch entsprechende technische Unterstützung, durch Mithilfe und Mitpräsenz vor Ort zu entschärfen.

2.3.2 Konstruktionsbereich

Als vor einigen Jahren die ersten Zeichen- bzw. Malprogramme (Paint, Draw) auf dem Markt erschienen, die es ermöglichten, dem Eingabegerät (Maus oder Stift) virtuelle Zeichenhilfsmittel wie Bleistift, Pinsel, Spraydose, Kreide, Radiergummi, Schwamm, Schere zuzuordnen und damit den Zeichenprozeß an die traditionellen Gewohnheiten und Vorstellungen von Malern und Zeichnern anzupassen, wurden sie von vielen "Experten" belächelt. Ein Vorgang, der auch in anderen Bereichen feststellbar ist: wenn Fachleute, die sich in eine Spezialsprache und -technik eingearbeitet haben, mit einer vereinfachten Handhabbarkeit ihres Systems und der damit verbundenen Öffnung des Gebrauchs für weniger spezialisierte Menschen konfrontiert werden, reagieren sie nicht selten mit Geringschätzung, Ironie und Ablehnung. Heute ist die oben beschriebene Metaphorik in der Hobbymalwerkstatt, wie im professionellen Designbereich, weit verbreitet.

Im Bereich des technischen Zeichnens gibt es zwischen dem traditionellen Zeichenbrett und dem CAD-System einige Technikstufen, die denen des Spektrums von der Schreibmaschine zum rechnergestützten Editor entsprechen. Das Zeichenbrett mit einem angebauten Taschenrechner und Zeichengerät zum Zeichnen technischer Symbole, das elektronifizierte Zeichenbrett mit Digitalanzeige der x,y-Position und das elektronische Zeichenbrett mit Anschluß an ein CAD-System und synchronem Aufbau einer rechnerinternen CAD-Geometriedatenstruktur. Uns sind keine Untersuchungen bekannt, die die Übergangsproblematik von alter zu neuer Technik in diesem Bereich unter dem Aspekt des Erfahrungserhalts und der inkrementellen Metaphorikveränderung zum Thema haben.

Carrol und Thomas [Carrol & Thomas 1982] betonen die Bedeutung metaphorischen Lernens für die Beherrschung von Rechnersystemen. Für den Konstruktionsbereich weisen sie auf die unterschiedliche Wirkung von Zeitmetaphern (Herstellungsprozeduren) und Raummetaphern (Büro Layout) hin und betonen die Überlegenheit letzterer.

Cords und Müller [Cords & Müller 1992] untersuchen die Frage, unter welchen betrieblich-organisatorischen und informationstechnischen Bedingungen CAD-Systeme an betriebliche Verhältnisse in Zukunft nicht wie bisher hauptsächlich von CAD-Systembetreuern sondern auch von Konstrukteurinnen und Technischen Zeichnerinnen angepaßt werden können. Aus ihren Untersuchungen wird besonders die Problematik deutlich, die dadurch entsteht, daß einerseits die Anpassung der Systeme an individuelle Bedürfnisse und Gewohnheiten immer einfacher wird, also tatsächlich eine Tendenz zum selbst programmierenden Nutzer feststellbar ist, andererseits Systembetreuer und Konstruktionsleiterinnen das Chaos fürchten.

Læssøe und seine Gruppe [Læssøe et al. 1989] entwickeln ein elektronisches Zeichenbrett, mit dem der kommunikative Prozeß zwischen Konstrukteuren, Fertigungsleuten und Planerinnen dadurch unterstützt wird, daß die Handskizzierung von Entwürfen auf einem rechnerentfernten Ort auch in der Werkstatt ermöglicht wird.

Bruns [Bruns 1993] stellt ein Anwendungsbeispiel vor, in dem eine CAD/CNC-Systementwicklung unter dem Aspekt erfahrungsorientierter Übergänge zwischen verschiedenen Produktsichten (Text, Grafik, Photographie) und Produktionssichten (Textprozedur, Grafikkontur, Werkzeugbahn) erfolgte. In diesem Ansatz bleibt traditionelles Wissen produktionsrelevant, indem es auch im neuen System einsetzbar ist und weiterentwickelt werden kann, andererseits sich aber neue Nutzungsformen als Alternative anbieten. Der Konstrukteurin werden metaphorische Brücken zur Verfügung gestellt, die sie in beiden Richtungen beschreiten kann.

Eine Tendenz, den Produktionsprozeß umfassender abzubilden, wird in der *featureorientierten* Konstruktion, Prozeßplanung und Fertigung bei Chang [Chang 1990] und Ruf [Ruf 1991] deutlich. Hierbei handelt es sich um den Versuch, eine Produktherstellung jeweils mit den angemessensten, erfahrungsorientierten Mitteln zu beschreiben. Dabei wird z.B. eine funktionsorientierte Bohrung nicht als geometrische Folge von Zeichengrundelementen eingegeben sondern als Funktion "Bohrung". Das System leitet daraus einen "Bearbeitungsschritt" ab, der sich aus unterschiedlichen Sichten verschieden präsentiert und verändern läßt. Eine Bohrung stellt sich dann aus Fertigungssicht als Steuerprogramm für eine Werkzeugmaschine, aus Dokumentationssicht als technische Zeichnung mit Ansichten und Schnitten usw. dar. Die Möglichkeit, auf verschiedenen Sichtebenen Veränderungen vornehmen zu können, die sich auf andere Sichten sofort auswirken und auch gleichzeitig darstellbar sind, nennt man Assoziativität. Featureorientierung und Assoziativität kommen den Eigenschaften des Menschen, vielschichtig wahrzunehmen und zu handeln, entgegen. Die oben zitierten Autoren verfolgen jedoch nicht das Ziel, die Erfahrungen zu erhalten, sondern vielmehr den Herstellungsprozeß möglichst weitgehend zu objektivieren und zu automatisieren.

2.4 Technikspezifische Ansätze

Die Maus stellt gegenüber der Tastatur eine Erweiterung und zugleich Spezialisierung der Eingabemöglichkeit von Daten in den Rechner dar. Budde und Züllighoven [Budde & Züllighoven 1990: 136] sehen im Umgang mit der Maus und den dadurch gesteuerten Software-Werkzeugen eine Erweiterung unserer sinnlichen Wahrnehmung der Umwelt, indem diese uns Software-Systeme erfahrbar machen. Diese Sicht ist für uns analytisch nicht sehr hilfreich, denn jedes Instrument oder Werkzeug "erweitert" unsere Sinne, das Mikroskop wie der Hammer. Es erweitert und spezialisiert sie. Die für uns interessante Frage ist die nach den notwendigen und den überflüssigen Vermittlungsformen. Wir stimmen nicht mit der Auffassung überein, daß Unmittelbarkeit und Natürlichkeit unserer Wahrnehmung "keine sinnvollen Denkkategorien" seien (S.120), daß Cursortasten und Mauszeiger nicht "abstrakter" oder "vermittelter" seien als z. B. der Lichtschalter. Wahrnehmung ist zwar immer vermittelt, insofern gibt es keine unmittelbar direkte Wahrnehmung im wahrnehmungspsychologischen Sinne, aber es gibt unterschiedliche Grade der Vermitteltheit, und der spezifische Grad von Vermitteltheit hängt stark von unseren Erfahrungen und Einsichten ab. Vermitteltheit ist *auch* eine subjektive Kategorie. Sie nicht als relevant anzunehmen, bedeutet, sich über die Eigenarten von Nutzerinnen hinwegzusetzen. Ein Mensch, der als Lichtquelle nur die Petroleumlampe mit Drehknopf zur Helligkeitsregulierung kennt, wird einen Lichtschalter für die Deckenbeleuchtung wohl zunächst für Zauberei halten, ihn vielleicht in seiner Alles oder Nichts Systematik akzeptieren und bald seine Wirkungsweise als unmittelbar erleben. Versteht er die zugrundeliegende Wirkungskette (E-Werk, Sicherung, Leitung, Schalter, Glühbirne) nicht, so wird er sich über Störungen und über die Stromrechnung wundern. Der Grad der Vermitteltheit soll für uns eine wichtige Kategorie handhabbarer Rechnersysteme sein. Eine Maus, die vielen Menschen, insbesondere älteren, große Probleme macht, kann von anderen Anwendern sehr schnell verinnerlicht werden. Hier gilt es zu differenzieren. Es ist und bleibt eine außergewöhnliche Spezialisierung der Sinne.

In zahlreichen neueren Ansätzen wird versucht, den einseitigen Zugang zu Rechnerfunktionalitäten über Tastatur, Maus oder Digitalisierstift und den zweidimensionalen Bildschirm zu erweitern. Diese Versuche eines *multisensorischen* Umgangs mit dem Rechner sind geprägt durch den Wunsch, auch optisch räumlich, akustisch und haptisch wahrzunehmen und die Eingabe über Ganzkörper- oder Handschuhensoren zu ermöglichen (vgl. [Aukstakalnis & Blatner 1992], [Iwata 1990], [Minsky et al. 1990], [Rubine 1991]). Diese mit dem Begriff "Virtual Reality" bezeichnete Entwicklungsrichtung ist durch die Bemühung gekennzeichnet, mit einem rechnerinternen Abbild des Menschen oder einzelner Organe (z. B. der Hand), das über Sensoren an den Körper des Menschen gekoppelt ist, in einer dreidimensionalen, perspektivisch dargestellten Rechnerwelt zu "navigieren" und zu operieren.

Die Tendenz der Virtualisierung ist bereits bei der Maussteuerung erkennbar. Bei ihr werden auf einer Schreibtischoberfläche Handbewegungen ausgeführt, deren Bedeutung sich jedoch nicht aus der Schreibtischemgebung ergibt, sondern aus der gekoppelten Bewegung eines Mausabbildes (z. B. Pfeil oder Handsymbol) auf dem Rechnerbildschirm und dessen "Umgebung" im Rechner. Hand-Maus-Rechner-Mausabbild-Auge-Gehirn-Hand bilden einen geschlossenen Regelkreis. Nun ist dieser Regelkreis noch kaum zu unterscheiden von dem eines Autofahrers mit der Umwelt: Hand-Lenkrad-Räder-Umwelt-Auge-Gehirn-Hand. Der entscheidende Unterschied, und dieser wird im Virtual Reality Konzept besonders deutlich, ist der, daß in der Rechneranwendung nicht nur die *Aktion*

eine sehr komplex vermittelte (nicht nur mechanisch, wie beim Auto) ist, sondern auch der Kontext, die *Reaktion*.

Um die Illusion zu erhöhen, die Grenze zwischen Realität und Rechnerabbild zu verdecken, werden Sensor/Aktorsysteme entwickelt, die der greifenden Hand den Eindruck von Rauheit und Gegendruck vermitteln. Diese hochvermittelte Wahrnehmung führt zu einer Verlagerung von Sinnlichkeit, deren Konsequenzen wir nicht abschätzen können.

2.5 Folgerungen und Ausblick

Mit einigen Ausnahmen, wie z. B. Carrol und Thomas [Carrol & Thomas 1982], orientieren sich die hier zitierten Entwicklungsansätze an *einer* als optimal angenommenen oder anzustrebenden Nutzungsart. Das explizite Ziel, eine möglichst große Vielfalt an metaphorischen Zugängen mit Übergängen anzubieten und damit der Vielfalt vorfindlicher Nutzererfahrungen entgegenzukommen, wird nicht thematisiert. Mit metaphorischen Zugängen ist dabei mehr gemeint als die Anpassung der Benutzungsoberfläche an eigene Gewohnheiten und Bedürfnisse. Dies soll in den folgenden Kapiteln präzisiert werden.

Eine Tendenz, die bei den technischen Ansätzen vorherrscht ist die, die Realität vielfältiger zu sensorisieren und damit ein anschaulicheres Modell der Realität im Rechner, als virtuelle Welt, aufzubauen und zu manipulieren. Die Möglichkeit, sich dadurch vom Rechner unabhängiger zu machen und wieder stärker den realen Dingen zuzuwenden, wird nicht genutzt. Auch hierzu versuchen wir Alternativen zu entwickeln, die weiter unten dargestellt werden.

Erfahrung und Sinnlichkeit sind Dimensionen, die allein mit rationalen Mitteln nicht angemessen behandelt werden können. Sowohl individuell-psychische als auch gesellschaftlich-historische Aspekte werden in den beiden folgenden Positionen angedeutet. Zunächst die individuell-psychischen Aspekte.

Eine Voraussetzung für das Erkennen unbewußter Prozesse ist nach Bion [Bion 1990] die *negative Fähigkeit*, das ist die Fähigkeit, Unsicherheit zu ertragen. Gedanken entstehen als erstes, das Denken der Gedanken als zweites. Die Vorläufer der Gedanken sind die emotionalen Erfahrungen, die erst noch Gestalt annehmen müssen. Sind wir vorschnell mit Begriffen, Denkmodellen und Theorien zur Hand, so nehmen wir der unbekanntem emotionalen Erfahrung die Möglichkeit, in uns Gestalt zu gewinnen es verhindert spekulatives Nachdenken. Dieses Vorgehen, das von Bion in bewußter Unterscheidung zwischen der Bildung von Gedanken über Belebtes und der Bildung von Gedanken über Unbelebtes als ein Merkmal der psychoanalytischen Behandlungsmethode gewählt wird, könnte vielleicht auch uns helfen, Software zu schaffen, bei der wir mit unseren Vorurteilen über die später mit diesen Systemen arbeitenden Menschen etwas sensibler sind als bisher. In den Arbeiten Bions sehen wir einen auch für Systementwicklerinnen relevanten Ansatz, mit dem Dilemma umzugehen, einerseits Maschinen zu bauen, die während des Entwicklungsprozesses eine strenge Rationalität erfordern, andererseits eine spätere Nutzungsmöglichkeit zu antizipieren, bei der der Maschinencharakter möglichst wenig dominiert. So wie die Entwicklung des kindlichen Denkens von der Fähigkeit der Mutter abhängt, sich träumerisch einzufühlen, zu zerstreuen, könnte auch in einem entfernt verwandten Sinne die Entwicklung eines Artefakts stärker von unserem Träumen

abhängen. Es wäre dann unser Unbewußtes das Sinnesorgan für das antizipierte Unbewußte des zukünftigen Nutzers und umgekehrt. so könnte eine binokulare Systementwicklungssicht entstehen, die das Bewußte und das Unbewußte als zwei Ansichten desselben Gegenstandes betrachtet.

Abweichend vom vorherrschenden Wissenschaftsverständnis geht diese Methode von dem Ansatz aus, daß die Wechselbeziehung zwischen emotionaler Erfahrung und abstrahierendem Denken am Anfang jeder "Einsicht" steht.

Der geschichtliche und gesellschaftliche Charakter sinnlicher Wahrnehmung wird von Horkheimer [Horkheimer 1970: 217 ff.] hervorgehoben.

"Die Tatsachen, welche die Sinne uns zuführen, sind in doppelter Weise gesellschaftlich präformiert: durch den geschichtlichen Charakter des wahrgenommenen Gegenstands und den geschichtlichen Charakter des wahrnehmenden Organs. Beide sind nicht nur natürlich, sondern durch menschliche Aktivität geformt; das Individuum jedoch erfährt sich selbst bei der Wahrnehmung als aufnehmend und passiv. (...) Der physiologische Sinnesapparat des Menschen arbeitet selbst schon längst weitgehend in der Richtung physikalischer Versuche. Die Art, wie im aufnehmenden Betrachten Stücke geschieden und zusammengefaßt werden, wie einzelnes nicht bemerkt, anderes hervorgehoben wird, ist ebensowohl Resultat der modernen Produktionsweise, wie die Wahrnehmung eines Mannes aus irgendeinem Stamm primitiver Jäger und Fischer Resultat seiner Existenzbedingungen und freilich auch des Gegenstandes ist. Bezogen darauf ließe sich der Satz, die Werkzeuge seien Verlängerungen der menschlichen Organe, so umdrehen, daß die Organe auch Verlängerungen der Instrumente sind. Auf den höheren Stufen der Zivilisation bestimmt die bewußte menschliche Praxis unbewußt nicht bloß die subjektive Seite der Wahrnehmung, sondern in höherem Maß auch den Gegenstand. Was das Mitglied der industriellen Gesellschaft täglich um sich sieht, Mietskasernen, Fabriksäle, Baumwolle, Schlachtvieh, Menschen, und ferner nicht allein die Körper, sondern auch die Bewegung, in der sie wahrgenommen werden, von Untergrundbahnen, Förderkörben, Autos, Flugzeugen aus, diese sinnliche Welt trägt die Züge der bewußten Arbeit an sich, und die Scheidung, was davon der unbewußten Natur, was der gesellschaftlichen Praxis angehört, ist real nicht durchzuführen. Selbst dort, wo es sich um die Erfahrung natürlicher Gegenstände als solcher handelt, ist deren Natürlichkeit durch den Kontrast zur gesellschaftlichen Welt bestimmt und insoweit von ihr abhängig."

3. ORIENTIERUNGSRAHMEN DER EIGENEN ENTWICKLUNGSARBEIT

Voraussetzung für einen guten Systementwurf ist die "negative Fähigkeit", das ist die Fähigkeit, Unsicherheit zu ertragen.

3.1 Adressaten

Es sollen Produktionstechniker und hoffentlich zunehmend Produktionstechnikerinnen unterschiedlicher Vorqualifikation, Altersstufen und Betriebsbereiche erreicht werden. Dazu zählen Konstrukteurinnen, Prozeßplaner, Programmiererinnen, Einrichter, Instandhalterinnen.

Der Ort, den wir im Auge haben, ist die Werkstatt, in der materielle, körperliche Produkte hergestellt werden. Die Werkstatt kann auf handwerklichem oder industriellem, maschinisiertem Stand sein. Wir gehen aber immer von einem Ort aus, in dem der Mensch noch eine entscheidende Einflußmöglichkeit hat.

Ziel ist die ganzheitliche Produktion. Den Begriff Ganzheitlichkeit verstehen wir in Anlehnung an Autoren wie Hirsch-Kreinsen und Wild [Hirsch-Kreinsen & Wild 1992] als *qualifizierte und kooperative Produktionsarbeit* mit Aufhebung der Arbeitsteilung, autonomen Arbeitsgruppen aus qualifizierten Facharbeitern, sowie an Ulich [Ulich 1991] als *vollständige Arbeitsaufgabe*, die charakterisiert ist durch

- Selbständiges Setzen von Zielen, einbettbar in übergeordnete Ziele,
- Selbständige Handlungsvorbereitungen (Planungsfunktion),
- Auswahl der Mittel zur Zielerreichung,
- Ausführung mit Ablauffeedback zur Handlungskorrektur,
- Kontrolle mit Resultatfeedback.

3.2 Die Werkstatt

Die Systementwicklungsansätze, die vorgestellt werden sollen, konzentrieren sich auf das Anwendungsgebiet der Werkstattarbeit. Die Werkstatt als Ort materieller Produktion unterscheidet sich in vieler Hinsicht von der Bürowelt. Sie in allen ihren Dimensionen als Erfahrungswelt darzustellen, ist unmöglich. Wir konzentrieren uns in diesem Abschnitt exemplarisch auf charakteristische Tätigkeiten und Gegenstände der Werkstatt, die uns wichtig im Hinblick auf die Entwicklung neuer erfahrungsorientierter Systemansätze erscheinen.

Dabei soll im Auge behalten werden, daß die Werkstatt nicht nur ein Ort des zweckrationalen Handelns, sondern auch ein Ort sozialer Beziehungen ist. Letztere gilt es, durch Arbeitsmittel zu stärken und nicht zu behindern.

3.2.1 Tätigkeiten in der Werkstatt

Werkstattarbeit als Tätigkeit des Herstellens besteht heute mehr oder weniger aus folgenden Aktivitäten:

1. Beobachtung von Natürlichem und Künstlichem

2. Problemerkennung
3. Funktionsfindung
4. Prinzipfindung
5. Gestaltung als Formung, Optimierung, Detaillierung und Reflexion
6. Auswahl von Fertigungsprinzipien
7. Planung der Fertigung
8. Fertigung als Prozeßsteuerung und -überwachung
9. Reflexion und Kontrolle

Für die Durchführung dieser Tätigkeiten ist ein hohes Maß an Kommunikation und Kooperation erforderlich. Rechnergestützte vernetzte Fertigungssysteme verlangen ein Denken in komplexen Zusammenhängen. Wenn die obigen Aktivitäten in einer Reihenfolge angegeben werden, so soll dies nicht bedeuten, daß der praktischen, erzeugenden Tätigkeit diese Sequenz aufgezwungen oder gar weitere Formalisierungen festgeschrieben werden sollen, wie dies in der Richtlinie des VDI 2222 geschieht. Es soll im Gegenteil versucht werden, den Konstruktions- und Herstellungsprozeß wieder integrierter und experimenteller zu sehen. Probleme und Funktionen werden manchmal auch erst zu den schon fertigen Erzeugnissen gefunden, und die Fertigungsmöglichkeiten können zu neuen Produktideen führen.

Hellige faßt die Kritik an dem sequenziellen Vorgehen zusammen [Hellige 1991]:
"Als häufigster Ablehnungsgrund (normativer Konstruktionsmethodiken) erscheint in den Bestandsaufnahmen vor allem die starre Schematisierung des Konstruktionsablaufs. Die meisten logisch stringent entwickelten Ablaufpläne seien gegenüber den wechselnden Praxisaufgaben zu unflexibel. Die eindeutig vorgeschriebene Reihenfolge: Funktionsfestlegung, prinzipielle Lösung und Gestaltung widerspreche dem üblichen Springen von Konzeptions- und Gestaltungsphasen im iterativen Verfahren. Der vollständige Weg vom Abstrakten zum Konkreten sei bei ausgereiften Techniken ein sinnloser Umweg. Die Leitvorstellung vieler Konstruktionsmethodiken, vollständige Lösungsfelder anzustreben, wird als unreal bezeichnet, sie scheitere an dem Dilemma, daß erst die zunehmende Konkretisierung die Tragfähigkeit einer prinzipiellen Lösung zeige. Besonders häufig taucht auch das Argument auf, die Methodik komme dem Problemlösungsstil und den Konstruktionserfahrungen zu wenig entgegen. Die systematische Konstruktionswissenschaft gehe von der Fiktion aus, die Aufgabenstellung könne zu Beginn eindeutig festgelegt und dann in algorithmusartigem Vorgehen abgearbeitet werden. Der Leitgedanke des vollständigen Konstruktionsalgorithmus als Rationalisierungsziel sei ein Irrweg, da große Teile der Problemdefinition erst während des Konstruktionsprozesses vorgenommen würden. Schließlich wird immer wieder kritisiert, daß die Konstruktionsmethodik in ihrem Bestreben einer Rationalisierung oder gar Algorithmisierung bzw. Automatisierung des Konstruktionsprozesses dessen soziale und psychologische Bedingungen nicht oder zu wenig berücksichtigt: Das Konstruieren erscheint hier nicht als ein konkreter Lern- und Arbeitsprozeß, sondern als eine abstrakte Informationsverarbeitung im Hinblick auf Stoff-, Energie- und Informationsflüsse."

Ein Auflockern der obigen Sequenz kann zunächst zur Verminderung schematischen Denkens führen und bietet damit die Möglichkeit zu mehr Intuition und auch Reflexion. Beide Aspekte, die Kunstorientierung und die kritische Reflexion über den gesamten Lebenszyklus von Produkten, also deren ökologische, soziale und ökonomische Dimensionen, gilt es zu stärken.

Im folgenden soll zwar analytisch von der obigen Sequenz ausgegangen, zugleich aber konstruktiv nach reintegrativen Möglichkeiten gesucht werden.

1. Beobachtung von Natürlichem und Künstlichem

Die wichtigste Erkenntnisquelle des Menschen ist sein Umgang mit der Natur. Unser traditionell mechanistisches Wissenschaftsverständnis und die industriellen Produktionsverhältnisse stehen aber im Gegensatz zu einer organischen, natur- und menschenbezogene Betrachtung. Letztere gilt es zurückzugewinnen. Hierbei ist der Rechner eher störend.

Andererseits ist unser Alltag von komplexen technischen Dingen durchdrungen, die in ihrer Funktionslogik praktisch-sinnlich schwer erfassbar sind. Die Konsequenz, die viele Menschen daraus ziehen, ist, die Dinge als Blackbox zu benutzen. Hier beginnt eine bedenkliche Abhängigkeit des Menschen von der Technik. Oberstes Prinzip von Techniknutzung sollte das Bestreben sein, die Dinge zu durchschauen, mit denen wir umgehen. "Sollen sich auch alle schämen, die sich gedankenlos der Errungenschaften der Technik bedienen und nicht mehr geistig davon erfaßt haben als die Kuh von der Botanik der Pflanze, die sie mit Wohlbehagen frißt." [Einstein, 1930] Dies gilt heute in zunehmendem Maße für Technikfolgen. Der Rechner, mit seinen Möglichkeiten, die zeitlichen und räumlichen Dimensionen flexibel zu variieren, eignet sich gut als Spielzeug, Analyse- und Strukturierungsmittel. Die Simulation, als ein spielerisch, experimentelles Mittel, dynamische Vorgänge zu beschreiben und zu analysieren, ist z. B. geeignet, den Reflexionsprozeß über ökologische und soziale Folgen technischer Produkte zu unterstützen. Dies setzt aber entsprechende Systeme voraus, die einen hohen Grad nutzerseitiger Selbstbestimmtheit und Erfahrungsorientierung zulassen.

2. Problemerkennung und -analyse

Die Herstellung technischer Produkte setzt Produktideen voraus. Diese entstehen aus der phantasievollen Beobachtung von Natur und Technik, aber auch aus der systematischen Analyse vorhandener Produkte, Bedürfnisse und Entwicklungstrends. Lohmann bezeichnet diesen Vorgang als das Auflockern des Suchfeldes [Lohmann 1953]. Eine Produktidee wird in Form einer Anforderungsspezifikation festgehalten. Ihre Erstellung setzt Perspektivenvielfalt, experimentelles Umgehen mit den Dingen und den Einsatz aller Sinne voraus. Intuition (von *intueri* = durchschauen, einsehen) ist die hier geforderte Fähigkeit des Menschen. "Göttliche Neugier und der Spieltrieb des bastelnden und grübelnden Menschen sind der Urquell aller Erfindungen." [Einstein 1930]

3. Funktionsfindung

Der Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen (Energie, Stoff und Information) zur Erfüllung einer Aufgabe wird als Funktion eines technischen Systems bezeichnet (vgl. [Pahl & Beitz 1984]). Technische Systeme haben häufig eine hierarchische Teile- und Funktionsstruktur und können dementsprechend zerlegt werden (vgl. [Simon 1990]). Typische Funktionen sind das Leiten, Wandeln, Ändern, Verknüpfen, Speichern von Kraft, Energie, Material und Signalen. Rechnergestützte Hilfsmittel für diese Phase findet man in der Technik der Softwareentwicklung, z.B. Structured Analysis and Design Technique (SADT), Structured Analysis/Real-Time (SA/RT) oder Object Behavior Analysis (OBA) (vgl. [Schönthaler & Németh 1990] und [Goldberg 1992]).

4. Prinzipfindung

Funktionen und Funktionsstrukturen werden durch geometrische und stoffliche Strukturen mit Hilfe physikalischer, chemischer und biologischer Effekte realisiert, sog. Wirkprinzipien.

Rodenacker [Rodenacker 1984], Koller [Koller 1985], und Roth [Roth 1982] haben wichtige physikalische Effekte für die Konstruktion zusammengestellt. Hierbei spielen die *Teile* und ihre *Beziehungen* zueinander eine wesentliche Rolle. Beziehungen sind:

Feste Verbindungen zur Übertragung von Kraft, Moment und Bewegung:

Klebe-, Löt-, Schweiß-, Niet-, Bolzen-, Stift-, Schrauben-, Wellen-, Nabenverbindungen;

Freie Verbindungen zur Übertragung von Rotationsenergie:

Kupplungen, Gelenke;

Speicher zur Aufnahme, Speicherung und Abgabe mechanischer Energie: Federn;

Lager und Führungen zur Aufnahme und Übertragung von Kräften zwischen relativ zueinander bewegten Komponenten:

Gleitlager und -führungen, Kugellager, Rollenlager;

Getriebe (zur Übertragung von Leistungen):

Wellen, Zahntriebe, Ketten, Seile, Riemen;

Führungen für Fluide.

Diese Beziehungen werden häufig durch *Elementpaare* hervorgebracht, wie:

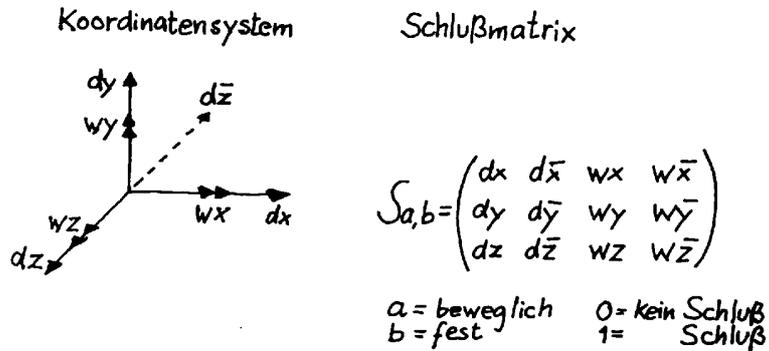
Zylinderpaar: Drehzapfen und Hohlzylinder (Lager);

Prismenpaar: Voll- und Hohlprisma;

Schraubenpaar: Schraube und Mutter;

Zahnradpaar: Zahnräder, die ineinandergreifen.

Ein Rechnersystem, das die Prinzipfindung unterstützt, sollte mit diesen Begriffen und Beziehungen operieren können. Insbesondere könnten Konstruktionskataloge und -systematiken dazu verwendet werden, die Qualifikation und Erfahrungsbildung zu unterstützen (z. B. Ein Baukasten mit typischen Anwendungen der Rothschen Paarungen).



Verbindungen a/b und Schlußmatrizen

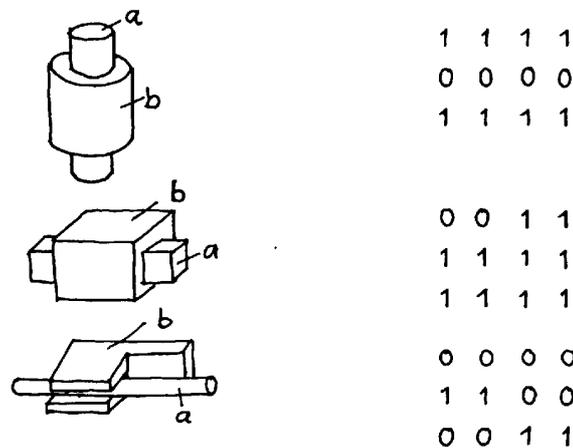


Abb. 3 - 1: Übertragungsmatrizen (nach [Roth 1982])

5. Gestaltung als Formung, Optimierung, Detaillierung, Reflexion

Die Gestalt eines Produktes wird unter anderem nach den Notwendigkeiten der Fertigung, der Montage und des Transportes, nach den Gesetzen der Festigkeitslehre, Werkstofftechnik, Thermodynamik, Strömungsmechanik, Fertigungstechnik und nach den zukünftigen Verwendungsarten ausgerichtet.

Rechnerunterstützung könnte in dieser Phase erfolgen durch

- Literaturrecherche,
- Analyse natürlicher Systeme mit Bildverarbeitungsmethoden,
- Analyse technischer Systeme mit Simulation und Animation,
- Analogiebetrachtungen durch Experimente und Visualisierungen,
- Modellversuche,
- Heuristische Operationen.

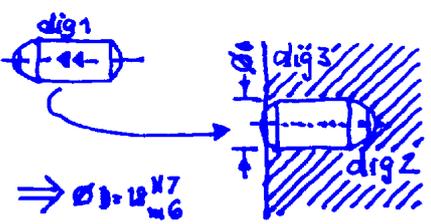
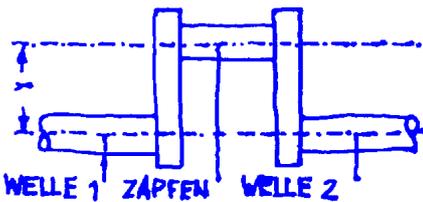
Gestaltungsbegriff	Kommando	Anwendungsbeispiel
PASSGENAU	EINFÜGE Zylinderstift DIN 6325 <dig 1> IN Bohrung <dig 2> O=H7 m6 BÜNDIG <dig 3>	
ACHSPARALLEL	EINFÜGE Zapfen ACHSPARALLEL MIT ABSTAND x ZU Welle 1 UND Welle 2	

Abb. 3 - 2: Beispiele zur Verwendung technischer Assoziationsterme in einem Kommando zur *kombinativen* Modellierung (nach [Seiler 1985])

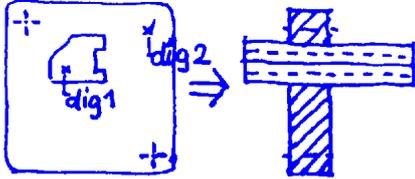
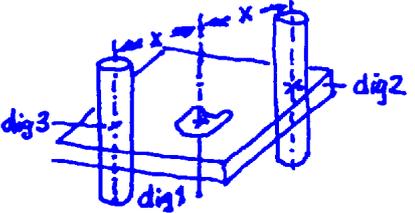
Gestaltungsbegriff	Kommando	Anwendungsbeispiel
PASSGENAU	ERZEUGE Schnittstempel PASSGENAU ZU Ausschnitt <dig 1> IN Schnittplatte <dig 2>	
ACHSPARALLEL	ERZEUGE zylindrische Säulen ACHSPARALLEL ZU Ausschnitt <dig 1> MIT ABSTAND <x>, POSITION <dig 2>, <dig 3>	

Abb. 3 - 3: Verwendung technischer Assoziationsterme in einem Kommando zur *generativen* Modellierung (nach [Seiler 1985])

Heute übliche Konstruktionssysteme gehen *virtuell* geometrisch, synthetisch vor, d. h. sie erzeugen eine Form im Rechner entweder durch Mengenoperationen (Vereinigung, Differenz, Durchschnitt) zwischen einem sich ausdifferenzierenden Körper und einfachen geometrischen Grundkörpern (Zylinder, Kegel, Kugel, Quader) als Constructive Solid Modelling oder durch Veränderung der Körperoberfläche (Schneiden, Verrunden) als Boundary Representation Modelling. Eine bisher nicht verfolgte Möglichkeit ist die werkzeug- oder fertigungsprozessorientierte topologische Formgebung eines *realen*, leicht

formbaren Materials mit *realen* Hand- oder Werkzeugoperationen, z. B. durch das Einführen eines Bohrers in ein plastisches Realobjekt (Knetgummi), die Mitzeichnung dieses Vorgangs durch den Rechner und die anschließende Geometrieparameterbestimmung am Rechner.

6. Auswahl des Fertigungsprinzips

Ausgehend von einer angestrebten Produktgeometrie werden prinzipielle Fertigungsverfahren (Prozesse) ausgewählt, mit denen das Teil herstellbar ist, z. B. kann ein Loch gebohrt, gefräst oder gestanzt werden. Der Herstellungsprozeß ist wesentlich bestimmt durch die *geometrischen* und *technologischen* Möglichkeiten der Werkzeuge und Maschinen. Viele Werkzeuge tragen Material von einem Rohteil ab und transformieren es in eine angestrebte Form mit gewünschten Oberflächen. Die form- und oberflächenerzeugenden Möglichkeiten der Werkzeuge sind also wichtige Kriterien für die Auswahl geeigneter Fertigungsverfahren. Chang [Chang 1990] klassifiziert Werkzeuge mit ihren Zerspanungsfähigkeiten und zu berücksichtigenden geometrischen Restriktionen. So darf der nichtspanende Teil des Werkzeuges nicht mit dem Werkstück kollidieren, kann ein Bohrer wegen des Abrutschens nicht in eine schräge Oberfläche eindringen, kann wegen der winkelförmigen Schneidfläche eines Bohrers kein Loch mit flachem Boden gebohrt werden.

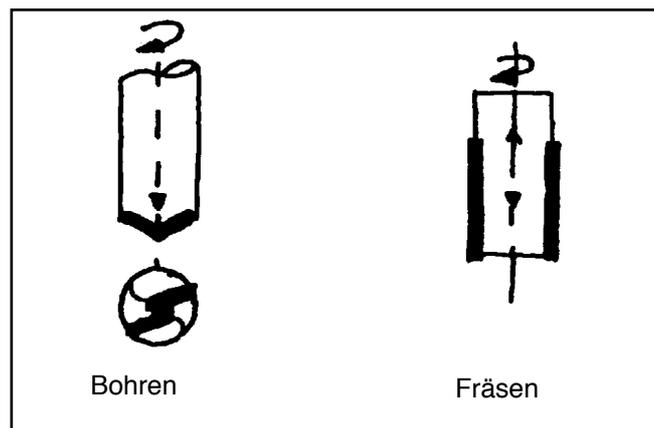


Abb. 3 - 4: Schnittkantengeometrie

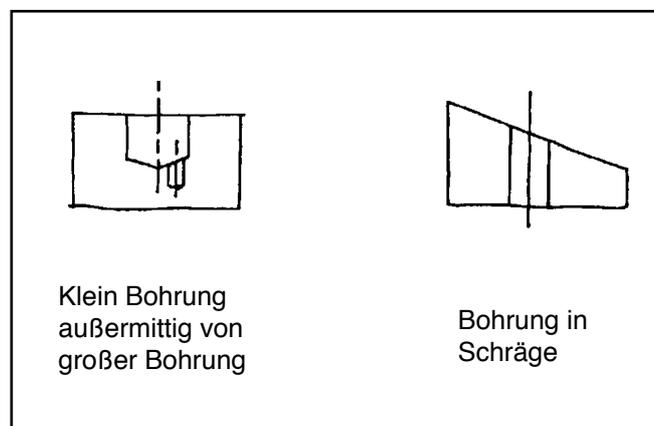


Abb. 3 - 5: Geometrische Restriktionen

Technologische Kriterien sind z. B. Leistungsverbrauch, Schnittkräfte, Oberflächengüten. Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Auswahl des Prozesses ist die Wirtschaftlichkeit seines Einsatzes und sollte in Zukunft auch stärker die ökologische Dimension sein.

Wir gehen von der These aus, daß der Produktionstechniker die Erfahrung, welche Prozesse für welche Formveränderungen einsetzbar sind, nur eng gekoppelt an reale Arbeit erwerben kann.

7. Planung der Fertigung

Nach der Entscheidung für ein geeignetes Fertigungsprinzip oder eine Folge von Prinzipien sind die Ausführungsschritte und -mittel für konkrete Werkzeuge und Maschinen zu bestimmen (z. B. das Programm für eine CNC-Fräsmaschine, die erforderlichen Werkzeuge, Spannmittel) und die Fertigungsreihenfolgen festzulegen.

Der Rechner kann bei der Programmerstellung, der Bestimmung technologischer Parameter und in der Reihenfolgebildung unterstützen. Protokoll- bzw. Playbacktechniken können die Programmerstellung konkretisieren.

8. Fertigung

Typische Fertigungsaktivitäten in der Werkstatt sind durch die DIN 8580 beschrieben, Tabelle 3 - 1. Diese zeigen deutlich den Unterschied zu typischen Schreibtischtätigkeiten auf, wie: Suchen, Schreiben, Ablegen, Sortieren, Klassifizieren, Korrigieren, Ausfüllen, Ausschneiden, Einkleben, Radieren, Wegwerfen, Hervorheben usw.

9. Reflexion und Kontrolle

Durch Messen, Nachrechnen, statistische Analyse, aber auch durch sinnliches Begreifen und Beschauen wird die Qualität eines Produktes überprüft.

Hauptgruppe 1 Urformen	Hauptgruppe 2 Umformen	Hauptgruppe 3 Trennen	Hauptgruppe 4 Fügen	Hauptgruppe 5 Beschichten	Hauptgruppe 6 Stoffändern
Merkmal: Erzeugen der Form, wobei der Zusammenhalt geschaffen wird	Merkmal: Ändern der Form, wobei der Zusammenhalt beibehalten wird	Merkmal: Ändern der Form, wobei der Zusammenhalt vermindert wird	Merkmal: Ändern der Form, wobei der Zusammenhalt vermehrt wird	Merkmal: Ändern der Form, wobei der Zusammenhalt vermehrt wird	Merkmal: Ändern der Werkstoffeigenschaften
Gruppe 1.1 Urformen aus dem flüssigen Zustand	Gruppe 2.1 Druckumformen z. B. Gesenkenformen	Gruppe 3.1 Zerteile z. B. Scherschneiden	Gruppe 4.1 Zusammensetzen z. B. Einlegen einer Paßfeder	Gruppe 5.1 Beschichten aus dem flüssigen Zustand	Gruppe 6.1 Verfestigen durch Umformen z. B. Schmieden
Gruppe 1.2 Urformen aus dem plastischen Zustand z. B. Spritzgießen	Gruppe 2.2 Zugdruckumformen z. B. Tiefziehen	Gruppe 3.2 Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	Gruppe 4.2 Füllen	Gruppe 5.2 Beschichten aus dem plastischen Zustand	Gruppe 6.2 Wärmebehandeln z. B. Härten
Gruppe 1.3 Urformen aus dem breiigen Zustand	Gruppe 2.3 Zugumformen	Gruppe 3.3 Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide	Gruppe 4.3 Anpressen und Einpressen z. B. Schrauben	Gruppe 5.3 Beschichten aus dem breiigen Zustand	Gruppe 6.3 Thermomechanisches Behandeln
Gruppe 1.4 Urformen aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand z. B. Pressen beim Sintern	Gruppe 2.4 Biegeumformen z. B. Schwenkbiegen	Gruppe 3.4 Abtragen	Gruppe 4.4 Fügen durch Urformen	Gruppe 5.4 Beschichten aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	Gruppe 6.4 Sintern und Brennen
Gruppe 1.5 Urformen aus dem span- oder faserförmigen Zustand	Gruppe 2.5 Schubumformen	Gruppe 3.5 Zerlegen z. B. Lösen von Verbindungen	Gruppe 4.5 Fügen durch Umformen z. B. Sicherungsblech	Gruppe 5.6 Beschichten durch Schweißen	Gruppe 6.5 Magnetisieren
Gruppe 1.8 Urformen aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand		Gruppe 3.6 Reinigen z. B. Reinigen der Lötstelle	Gruppe 4.6 Fügen durch Schweißen z. B. Schmelzschweißen	Gruppe 5.7 Beschichten durch Löten	Gruppe 6.6 Bestrahlen
Gruppe 1.9 Urformen aus dem ionisierten Zustand			Gruppe 4.7 Fügen durch Löten z. B. Weichlöten	Gruppe 5.8 Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand	Gruppe 6.7 Photochemische Verfahren
			Gruppe 4.8 Kleben z. B. Kleben	Gruppe 5.9 Beschichten aus dem ioni-	

von Kunststoff	sierten Zustand
----------------	-----------------

Tabelle 3 - 1: Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Beispiel Urformen

Am Beispiel des Urformens sollen einige Aspekte verdeutlicht werden, die uns für eine Werkstattperspektive relevant erscheinen. Ausgehend von der zu erfüllenden Funktion eines Bauteils einer Verpackungsmaschine (vgl. [Braun 1988]) z. B. die Aufnahme von Gewichtskräften durch den Deckel in unterschiedlichen Positionen, entsteht die Grobform eines Hebels. Dieser Hebel kann gefräst, geschweißt oder gegossen werden. An dieser Stelle kann ein Vergleich der verschiedenen Fertigungsverfahren stattfinden. Hierbei spielen Wirtschaftlichkeitsüberlegungen, Betriebsmittelverfügbarkeit und Qualifikation des Herstellenden eine Rolle. In unserem Fall möge die Analyse zu dem Ergebnis führen, daß das Urformen aus dem flüssigen Zustand unter Ausnutzung der Schwerkraft vorzuziehen sei. Eine Animation kann den prinzipiellen Prozeßablauf beim Gießen zeigen: Modellbildung, zweiteilige Form herstellen, Gießvorgang, Produktentnahme, Entgraten. Dabei kann der Zusammenhang deutlich gemacht werden, der zwischen funktional notwendiger Produktgeometrie, fertigungstechnisch bedingter Geometrie (Formschrägen, Übergangsradien, Bearbeitungszugabe) und stoffbedingter Geometrie (Berücksichtigung von Flüssigkeitsschrumpfung, Erstarrungsschrumpfung, feste Schwindung, Fließeigenschaften) besteht. Funktion, Form, Stoff und Verfahren stehen hier in einem engen Verhältnis, das iterativ und experimentell erfahren werden kann. Hierbei wäre bedeutsam, daß eine Kopplung an die reale materielle Welt zwar erhalten bleibt, also mit unterschiedlichen Materialien und unterschiedlichen Temperaturen tatsächlich gegossen wird, daß aber die systematische Variation, detaillierte Beobachtung und Analyse rechnergestützt mit Simulations- und Animationsstudien erfolgt. Der einfache, leicht handhabbare Wechsel zwischen Realität und Rechnermodell wäre hier eine notwendige Voraussetzung. (vgl. hierzu die Abbildungen 3 - 6 bis 3 - 13; alle in Anlehnung an [Braun 1988]).

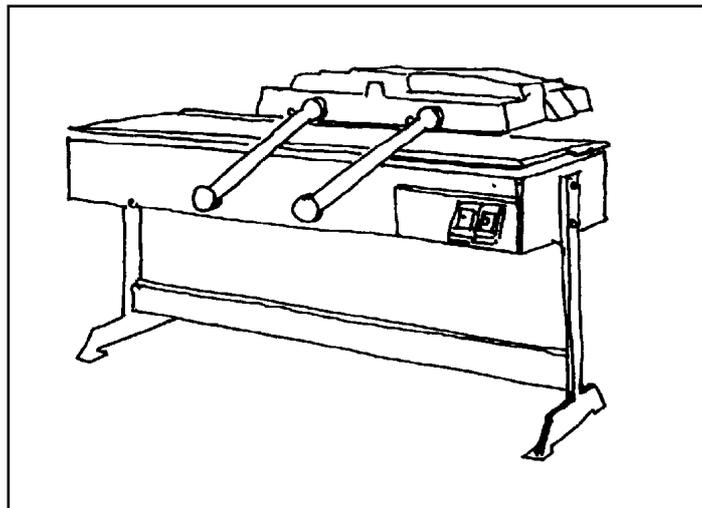


Abb. 3 - 6: Verpackungsmaschine

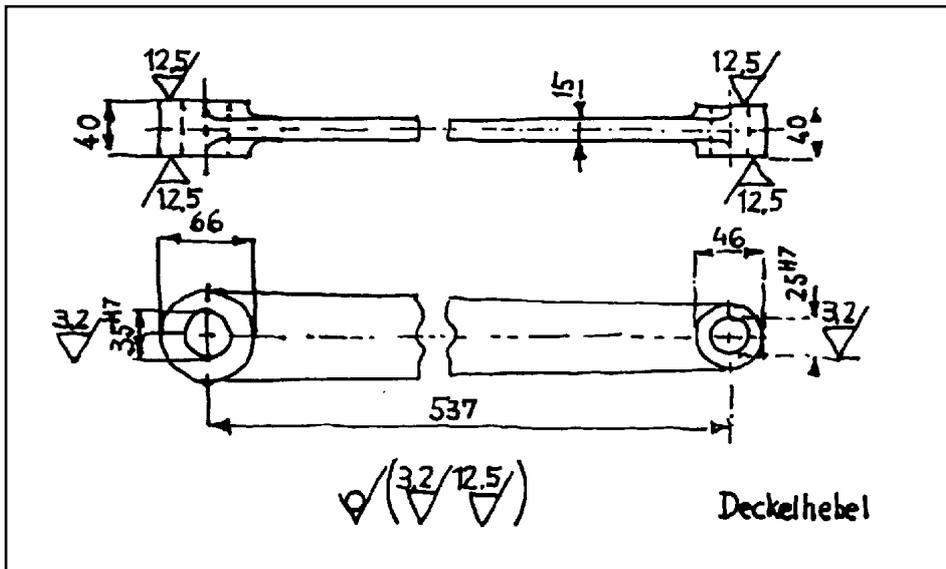


Abb. 3 - 7: Herzustellender Hebel

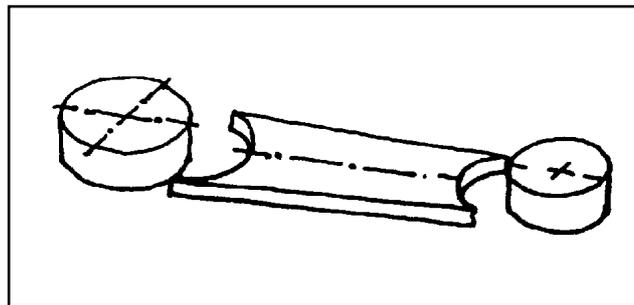


Abb. 3 - 8: Einzelteile für geschweißten Hebel

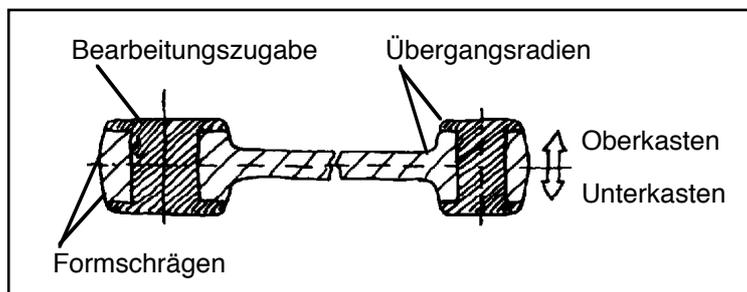


Abb. 3 - 9: Modellriß des Hebels

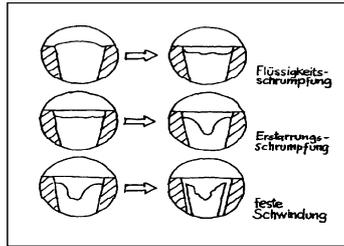


Abb. 3- 10: Volumenabnahme zwischen Gießtemperatur und Raumtemperatur

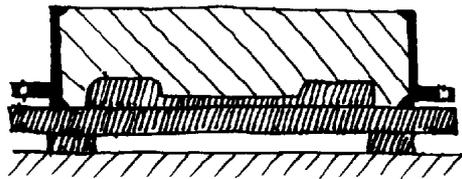


Abb. 3 - 11: Unterkasten wird über die Modellhälfte geformt

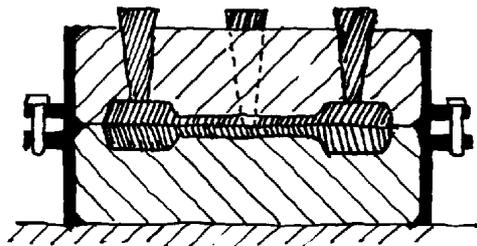


Abb. 3 - 12: Oberkasten wird mit zweiter Modellhälfte sowie Modellen für Einguß und Steiger geformt

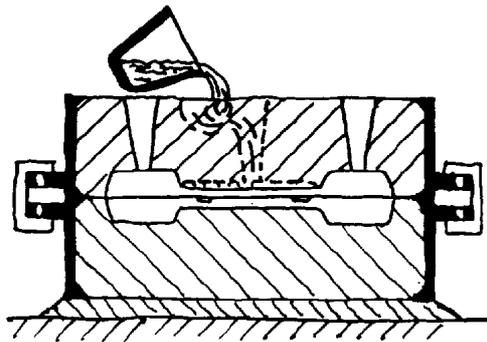


Abb. 3 - 13: Abgießen der Sandform, nachdem die Modellhälften entnommen wurden

Beispielszenario

Aus einem Holz- oder Tonrohling wird nach Zeichnung ein Modell gefertigt, das simultan auch als Rechnermodell entsteht. Das Realmodell wird benutzt, um in zwei Gußkästen die Gießform, den Gießtumpel, den Lauf und den Anschnitt herzustellen. Diese Operationen werden ebenfalls im Rechner mitgezeichnet und führen ohne direkte Manipulation der Nutzerin zu einem Rechnerabbild der Form. Daraufhin erfolgt die Entnahme und das Einfüllen eines flüssigen Gußwerkstoffes mit bestimmter Temperatur, ebenfalls vom Rechner mitgezeichnet. Es entsteht ein Gußteil, das unmittelbar sinnlich wahrgenommen und analysiert werden kann. Der Gußvorgang wurde im Rechner auf der Grundlage physikalischer Modellvorstellungen simuliert und kann vom Nutzer nun in unterschiedlichen Perspektiven (Zeitlupe, Lupe auf bestimmte interessante Punkte der Form) und mit variierten stofflichen und physikalischen Parametern (andere Legierungen, andere Temperaturen, andere Formgeometrien) untersucht und mit dem Realprodukt verglichen werden. Ausgehend von dieser konkreten Problemstellung kann nun systematisch das Gebiet "Physikalische Grundlagen: Allgemeine Eigenschaften der Körper" mit den Themen: Volumen, Masse, Dichte, Kohäsion, Adhäsion, Kapillarwirkung, Härte, Zähigkeit, Viskosität usw. behandelt werden.

In dieser Form könnten alle Fertigungsverfahren systematisch auf ihre erfahrungsfördernde und -erhaltende Unterstützung durch Rechner untersucht werden. Beispiele sind:

Umformen - Das Biegen erfolgt mit realen Objekten, die Geometrie wird vom Rechner mitgezeichnet und kann anschließend variiert und analysiert werden.

Trennen - Das Zerteilen und das Spanen erfolgt am realen Objekt, die entstehende Form wird im Rechner als Kontur, Arbeitsfolge, Constructive Solid mitgezeichnet und kann anschließend weiterverarbeitet werden.

Fügen - Zusammensetzen, Anpressen; Fügen kann zum Aufbau einer Handlungsfolge und eines Constructive Solid Modells genutzt werden.

Dabei könnte eine Alternative zu heutigen Konstruktionssystemen entstehen. Es gibt zwei Wege von der traditionellen technischen 2D-Skizze oder -Zeichnung zu vollständigen Produktmodellen:

1. durch Abstraktion: mit virtuellen Grundkörpern oder -flächen wird eine 3D-Struktur im Rechner aufgebaut,
2. durch Konkretion: ein Teil wird nach einer Zeichnung gefertigt. Neben dem real entstehenden Produkt entsteht auch ein virtuelles Produkt im Rechner. Dabei könnte beim realen Objekt das Schwergewicht auf die topologischen Zusammenhänge gelegt werden, die später mit dem Rechner präzisiert werden.

3.2.2 Gegenstände in der Werkstatt

In der Werkstatt treffen wir auf verschiedene Gegenstände, wie Werkzeuge, Maschinen, Automaten, Transportmittel, Kommunikationsmittel, Meßinstrumente, symbolische Darstellungen, Programme, Daten, Werkstoffe, Hilfsstoffe, Produkte. Wir wollen an dieser Stelle nur Werkzeuge und Maschinen exemplarisch behandeln.

Werkzeuge

Bei den Griechen hatte ein Werkzeug (*organon*) die Funktion, die menschlichen Organe zweckorientiert zu erweitern. Larousse definiert Werkzeug als Arbeitsgerät, das von der Hand des Arbeitenden bewegt wird. Budde und Züllighoven [Budde & Züllighoven 1990] lehnen die kontextfreie Definition von Werkzeug ab. Sie sehen Werkzeug und Werkstoff als nicht analytisch isolierbares gegebenes Ganzes an, machen gegenüber Maschinen aber doch typische Charakteristika aus. Danach hat technisches Gerät mit informierenden, Material bearbeitenden und ordnenden Eigenschaften Werkzeugcharakter. Werkzeuge können Erkenntnismittel sein, sie schließen die Umwelt auf, erweitern unsere sinnliche Wahrnehmung des Materials. Diese Sicht streben die zitierten Autoren dann in der werkzeugorientierten Softwareentwicklung an.

Im Kontext der Werkstatt für die Produktion materieller Güter soll Werkzeugcharakter für uns mehr sein. Ein technisches Gerät hat nach unserer Definition dann Werkzeugcharakter, wenn es neben den genannten Merkmalen des Informierens, Materialbearbeitens, Ordners noch frei von uns steuerbar ist (möglichst analog), eine geringvermittelte Kopplung und Rückkopplung zwischen menschlicher Aktion und Materialreaktion herstellt und souverän benutzbar ist.

Maschinen

Merkmale der klassischen Maschine als typischer Komponente der Werkstatt sind nach Reuleaux: *Verbindungen* widerstandsfähiger *Körper*, welche so eingerichtet sind, daß *mechanische* Naturkräfte genötigt werden, unter bestimmten *Bewegungen* zu wirken. Die Verbindung der Körper zu einer Maschine verhindert die für den Zweck der Maschine unnötigen und störenden Bewegungen. Diese *beschränkte* Beweglichkeit der Körper wird durch paarweise zusammengehörige Verbindungsteile, die Elementpaare (s.o.) hervorgebracht.

Danach unterscheidet man ortsverändernde und formverändernde Maschinen:

Beispiele für *ortsverändernde* Maschinen sind: Hebel, Kurbel (Muskel), Wasserräder, Turbinen (Elementarkräfte), Messen, Zählen: Uhren, Getriebe, Keile, Schiefe Ebene, Pumpe.

Beispiele für *formverändernde* Maschinen sind: Hammer- und Walzwerke, Blechbiegen, Drehbank, Hobel, Fräse, Feile, Siebe, Spinn-, Web-, Nähmaschinen.

Die erste Maschine war vermutlich der Feuerquirl, dem Charakter nach eine stumpfe Bohrmaschine. Heutige Maschinen gehen über die mechanisch definierten Funktionsstrukturen hinaus. Softwaresysteme können als logische und elektrische Automaten angesehen werden, und bereits konzipierte Maschinen im Nanometer-Bereich sind im wesentlichen chemisch konstituiert. Hat man bei mechanischen Werkzeugen und Maschinen noch die Möglichkeit der wenig technisch vermittelten sinnlichen Wahrnehmung, so ist dies schon im Mikrotechnischen der heutigen Rechnerwelt nicht mehr möglich und wird in der zukünftigen Nanotechnik nicht nur noch stärker instrumentalisiert sein, vermutlich wird auch die Dimension von Unbestimmbarkeit aufgrund quantenmechanischer Effekte an Bedeutung zunehmen.

Wir definieren den Maschinenbegriff etwas weiter:

Eine Maschine ist eine Organisation von Teilen, so daß Ursachen (Naturkräfte) genötigt werden, in bestimmten Möglichkeiten (Bahnen) zu wirken und einen bestimmten Zweck erfüllen. Diese Definition ist gültig für Meßgeräte, Uhren, Rechenmaschinen, Werkzeugmaschinen.

Eine umfassendere Behandlung des Themas: Werkzeug, Maschine, Automat, deren historischer Bedeutungswandel und ihr Verhältnis zum Denken und Handeln des Menschen erfolgt bei Sutter [Sutter 1988], Bahr [Bahr 1983] und Baruzzi [Baruzzi 1973].

Unser zentrales Anliegen ist die Beherrschung von Maschinen durch den Menschen. Die Beherrschbarkeit neuer Produktionstechniken und -mittel wird u. E. erleichtert, wenn Übergänge von einer Werkzeuggeneration zur nächsten ohne erzwungene Brüche möglich sind. Das soll nicht heißen, daß es für die Benutzung einer rechnergesteuerten Maschine nicht effektivere Nutzungsmodi gibt als die einer konventionellen Maschine. Von großem Vorteil wäre es jedoch, wenn diese neuen Modi so in die eigene Erfahrung hineinwachsen könnten, daß kein Orientierungsverlust erfolgt. Konstruktive Fähigkeiten und Erfahrungen werden an materiellen und physischen Objekten erworben. Eine hilfreiche Vorstufe für den Umgang mit abstrakten Maschinen wären vermutlich Klötzchenbaukästen, Mechanikbaukästen und technische Modelle, die Übergänge zu abstrakteren Ebenen unterstützen. Es fehlt ein Modellbaukasten mit Kopplungsmöglichkeiten zwischen Konkretem und Abstraktem, ein Baukastensystem der Erzeugung "Leonardo", Abb. 3 - 14.

Unter einer Werkstattperspektive soll im folgenden, in Anlehnung an Ehn [Ehn 1988] und im Gegensatz zur Systemperspektive, eine Technik angestrebt werden, die große Erfahrung und Qualifikation der Arbeitenden verlangt, mehr Kontrolle über den und Verständnis vom Produktionsprozeß, Abnahme der Arbeitsteilung, Planungsautonomie der eigenen Arbeit ermöglicht.

Abb. 3 - 14: Baukastensystem "Leonardo" (nach [Heidenreich et al. 1980])

3.3 Die Kunst

Der Orientierungsrahmen, den die Kunst bietet, ist vielschichtig und bedarf einer differenzierten (und eingeschränkten) Betrachtung; zu stark haben Kunst und die Künste sich heute schon ausdifferenziert, um ihre Verfahrensweisen und Hervorbringungen über einen Leisten schlagen zu können. Nur einige Aspekte, die für unsere Arbeit und eine andere Sichtweise des Umgangs mit Computern hilfreich sein können, sollen hier hervorgehoben werden.

Der antike griechische Begriff *techne* unterscheidet noch nicht zwischen Technik, Kunst und Wissenschaft. Gleichwohl werden die sogenannten freien Künste, die als allmähliche Ausdifferenzierung kultureller Praktiken zu verstehen sind, konkret benannt. Zu ihnen gehören Mathematik, Astronomie, Grammatik, Rhetorik und Dialektik, Musik, Baukunst und Bildhauerei.

Der (späte) Antagonismus zwischen Kunst und Technik ist wahrscheinlich nachhaltig verstärkt worden durch die technischen Hervorbringungen der industriellen Revolution: häßlich in ihren Erscheinungen und als Gesamtentwicklung erkennbar als Bedrohung des Handwerks.

Zu unterscheiden ist daher vor allem die geschichtlich gewachsene Differenzierung der Kunst in die freie und die angewandte Kunst, im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch deftiger unterschieden als im deutschen in die "fine arts" und die "arts not fine". Hat diese historische Trennung schon früh begonnen (etwa in der späten Renaissance, also in der vor- und frühkapitalistischen Produktionsweise), so bekommt sie eine tatsächliche Relevanz erst mit der industriellen Revolution und den Formen und Produktionsweisen des Hoch- und Spätkapitalismus. Die Industrialisierung der Produktion bringt - als Ausdifferenzierung künstlerischer Produktion - das Industrial Design hervor, das seine Wurzeln, so kann man es grob sagen, in der englischen "Arts and Crafts"-Bewegung hat. Dieses Praxisfeld, das aufs engste verknüpft ist mit Fragen der Ökonomie, ist das Tummelfeld der Spezialisten vor allem für die Gestaltung der Gebrauchsgüter des täglichen Bedarfs, von Gebrauchsgegenständen und Kommunikationsmitteln, zu denen heute auch die Maschinen und Systeme gehören, von denen hier die Rede ist. Die Hardware (d. h. der Computer in seiner materiellen Form) als Gegenstand des Industrial Design ist längst kein interessantes Betätigungsfeld mehr, vielmehr sind es diejenigen Fragen, die sich auf die kommunikativen und funktionalen Dimensionen der Software beziehen, von Softwaresystemen als Gegenständen des täglichen Gebrauchs. Eine wesentliche Frage, die das Design seit der Zeit der Arts and Crafts-Bewegung beschäftigt, ist sein Verhältnis zur Technik - von strikter Ablehnung in den Anfängen geprägt bis hin zu einer zweckrationalistischen Verbrüderung, die deutlich noch am Bauhaus der zwanziger Jahre abzulesen ist.

Es ist nicht verwunderlich, daß wesentliche Impulse zur Ausprägung eines Berufsbildes und überhaupt einer Identität im Bereich des Design von Architekten, wie Walter Gropius, Peter Behrens, Bruno Taut ausgingen, denn die Architektur ist seit jeher diejenige Kunst, die neben ihrem ästhetischen auch immer einen Gebrauchswert besitzt und diese beiden Kategorien in Einklang zu bringen versucht. Das Form-Kontext-Problem (vgl. [Alexander 1964]) ist ihr seit Jahrhunderten bekannt, und so verwundert es nicht, daß gute Architektur und Stadtplanung sich ihrer sozialen Verantwortung bewußt sind. Sicher gilt das auch für andere Sparten des Design, das ja ursprünglich als Bewegung gegen eine menschenfeindliche Technikentwicklung angetreten ist.

Design als hybride *techné* zwischen künstlerischem Gestalten und ingenieurwissenschaftlichem Entwickeln tendiert dazu, Methodologien und Design-Theorien zu entwickeln (vgl. [Alexander 1964], [Bürdek 1992]), das heißt seine Entwurfsmethoden und Verfahrensweisen von der Problemformulierung bis zur Realisierung explizit zu machen und zu verallgemeinern, in extremen Fällen eine Designdoktrin zu postulieren, wie Aicher dies für die Hochschule für Gestaltung tat, oder von einer Designphilosophie zu reden. Alles dies zusammengenommen hat dazu geführt, daß Design - oder im deutschen Sprachgebrauch "Gestaltung" (hier im kunstorientierten Sinn verstanden als Produktgestaltung und visuelle Gestaltung) - lehrbar geworden ist. Bestes Beispiel für die Etablierung einer systematischen Gestaltungslehre ist das Bauhaus, das große Ausstrahlung auf nachfolgende Institutionen ähnlicher Art besaß.

Anders verhält es sich mit der freien Kunst, mit jenen autonomen künstlerischen Praktiken, die keine Gebrauchswerte produzieren, und deren Kern beschrieben werden kann als *Forschen im Formalen mit nicht-expliziten Methoden*. Ihre gesellschaftliche Funktion besteht darin, mit dem jeweilig fortgeschrittensten Stand der Technik explorativ zu verfahren und durch subjektive Verarbeitungsprozesse zu objektiven Aussagen über die Welt zu kommen. Ihr Ziel ist allein Ausdruck. Folgendes lange Zitat mag dazu dienen, Einblick in Reflexionen über diesen Prozeß impliziter Methoden künstlerischer Produktion zu geben, wie er hier gemeint ist:

"Hier, das ist es, was man erreichen muß. Wenn ich zu hoch oder zu tief greife, ist alles verpfuscht. Es darf keine einzige lockere Masche geben, kein Loch, durch das die Erregung, das Licht, die Wahrheit entschlüpft. Ich lenke ... den Realisationsprozeß auf meiner Leinwand in allen Teilen gleichzeitig. Ich bringe im gleichen Antrieb, im gleichen Glauben alles miteinander in Beziehung, was auseinanderstrebt. -- Alles, was wir sehen, nicht wahr, verstreut sich, entschwindet. Die Natur ist immer dieselbe, aber von ihrer sichtbaren Erscheinung bleibt nichts bestehen. Unsere Kunst muß ihr das Erhabene der Dauer geben, mit den Elementen und der Erscheinung all ihrer Veränderungen. Die Kunst muß ihr in unseren Vorstellungen Ewigkeit verleihen. Was ist hinter der Natur? Nichts vielleicht, vielleicht alles. Alles, verstehen Sie? Also verschränke ich diese umherirrenden Hände. Ich nehme rechts, links, hier, dort, überall diese Farbtöne, diese Abstufungen, ich mache sie fest, ich bringe sie zusammen. -- Sie bilden Linien, sie werden Gegenstände, Felsen, Bäume, ohne daß ich daran denke. Sie nehmen ein Volumen an, sie haben einen Wirkungswert. Wenn diese Massen, diese Gewichte auf meiner Leinwand, in meiner Empfindung den Plänen, den Flecken entsprechen, die mir gegeben sind, die wir da vor unseren Augen haben, gut, meine Leinwand verschränkt die Hände. Sie schwankt nicht. Sie greift nicht zu hoch und nicht zu tief. Sie ist wahr, sie ist dicht, sie ist voll. -- Aber wenn ich die geringste Ablenkung habe, die leiseste Schwäche fühle, besonders wenn ich einmal zuviel hineindeute, wenn mich heute eine Theorie fortreibt, die der von gestern widerspricht, wenn ich beim Malen denke, wenn ich dazwischenkomme, dann stürzt alles ein und ist verloren.

...

Der Künstler ist nur ein Aufnahmeorgan, ein Registrierapparat für Sinnesempfindungen, aber, weiß Gott, ein guter, empfindlicher, komplizierter, besonders im Vergleich zu den anderen Menschen. Aber wenn er dazwischenkommt, wenn er es wagt, der Erbärmliche, sich willentlich einzumischen in den Übersetzungsvorgang, dann bringt er nur seine Bedeutungslosigkeit hinein, das Werk wird minderwertig.

...

Die Kunst ist eine Harmonie parallel zur Natur. Was soll man von den Toren denken, die sagen, der Maler sei geringer als die Natur! Er ist ihr nebengeordnet. Wenn er nicht eigenwillig eingreift. -- verstehen Sie mich recht. Sein ganzes Wollen muß schweigen. Er soll in sich verstummen lassen alle Stimmen der Voreingenommenheit, vergessen, vergessen, Stille machen, ein vollkommenes Echo sein. Dann wird sich auf seiner lichtempfindlichen Platte die ganze Landschaft abzeichnen. Um sie auf die Leinwand zu bannen, sie aus sich herauszustellen, muß dann das Handwerk einsetzen, aber ein ehrfurchtsvolles Handwerk, das auch nur zu gehorchen bereit ist, unbewußt zu übertragen. Denn man beherrscht seine Sprache, den zu entziffernden Text, die beiden gleichlaufenden Texte, die gesehene Natur, die empfundene Natur, die dort draußen (*er deutet auf die grüne und blaue Ebene*) und die hier drinnen -- (*er schlägt sich an die Stirn*), sich durchdringen, um zu dauern, zu leben, ein halb menschliches, halb göttliches Leben, das Leben der Kunst, hören Sie -- das Leben Gottes. Die Landschaft spiegelt sich, vermenschlicht sich, denkt sich in mir. Ich objektiviere sie, übertrage sie, mache sie fest auf meiner Leinwand. -- Sie sprachen mir neulich von Kant. Vielleicht rede ich dummes Zeug, aber mir scheint, daß ich das subjektive Bewußtsein dieser Landschaft wäre und meine Leinwand ihr objektives Bewußtsein. Meine Leinwand und die Landschaft, beide außerhalb von mir, aber die letztere chaotisch, vergänglich, wirr, ohne logisches Dasein, ohne jede Vernunft; die erstere beharrend, dem Gefühl zugänglich, kategorisiert, teilnehmend an der Seinsweise, am Drama der Ideen. -- Ich weiß, ich weiß, das ist eine Interpretation. Ich bin kein Universitätsler. ... Ich tue vielleicht unrecht, so zu schwatzen. -- Keine Theorien! Werke -- Die Theorien verderben den Menschen. Man braucht einen verteufelten Saft, eine unerschöpfliche Lebenskraft, um ihnen zu widerstehen. ..." [Cézanne 1957]

Der so spricht, so scheinbar theoriefeindlich, ist kein anderer als Paul Cézanne, und das Zitat ist seinen Ausführungen "Über die Kunst" entnommen und entstammt seinen Gesprächen mit Gasquet und seinen Briefen. Diese Reflexionen sind vor fast hundert Jahren angestellt worden und doch von ungeahnter Aktualität. Dem tut kein Abbruch, daß der junge Gasquet, ein Dichter, sie aus der Erinnerung aufgezeichnet hat und gewisse Unschärfen, Veränderungen, Zutaten dabei geschehen sein mögen. Die erkenntnistheoretische Dimension dieser Äußerungen bleibt davon unberührt, wenngleich einige Begriffe interpretationsbedürftig sind und auch vielfach gedeutet und erklärt worden sind, im Zusammenhang scheint aber deutlich zu werden, wie Cézanne sie gemeint hat. Denn er sagt gleichzeitig: "Alles, *besonders in der Kunst*, ist Theorie, entwickelt und angewandt im Kontakt mit der Natur" (S. 40); Theorie im ursprünglichen griechischen Wortsinne *theoria* und meint das Schauen, Zusammenschauen, also das Zusammenbringen von Vereinzelttem in Form geistiger Tätigkeit.

Wieviel *Unbewußtes*, nicht oder nur schwer explizit zu Machendes an methodischem Vorgehen bei solch künstlerischer Produktion im Spiel ist, läßt sich erahnen. Auch läßt sich erahnen, wie weit heutige Computerarbeit davon entfernt ist, jene Fähigkeiten zuzulassen, von denen Cézanne spricht. Bei vielen großen Künstlern finden sich Hinweise darauf, daß eine intensive Sensibilisierung und eine vollkommen verinnerlichte Handwerklichkeit Voraussetzung für das Gelingen künstlerischer Produktion sind:

"Mein 'Geheimnis' besteht ausschließlich darin, daß ich seit Jahren die glückliche Fähigkeit erwarb (vielleicht unbewußt erkämpfte), mich (und damit meine Malerei) von 'Nebengeräuschen' zu befreien, weil für mich *jede* Form lebendig, klang- und damit ausdrucksvoll wurde. So erwarb ich gleichzeitig die glückliche Fähigkeit, die leiseste

Sprache zu 'hören'. Und damit kam die nicht weniger glückliche Möglichkeit, aus dem unendlich großen 'Formenschatz' vollkommen frei und hemmungslos die Form herauszuholen, die ich für diesen augenblicklichen Fall (= Werk) benötige. Ich brauche mich dabei nicht um den Inhalt zu kümmern, sondern nur und ausschließlich um die richtige Form. Und die richtig herausgeholte Form drückt ihren Dank dadurch aus, daß sie selbst ganz allein für den Inhalt sorgt." [Kandinsky 1963]

Diese Ausführungen Kandinskys lassen sich noch ergänzen um einen Aspekt, der das Implizite der schöpferischen Verfahrensweise deutlich macht - und immerhin war Kandinsky nicht irgendein Konstruktivist:

"Ich sagte einst oft zu meinen Schülern: 'Denken Sie soviel Sie wollen und soviel Sie können – das ist eine schöne Gewohnheit! –, aber denken Sie nie vor der Staffelei.' " [Kandinsky 1963: 246 f.]

Heute greift der Computer nach der Staffelei, verleiht sie sich ein, wie es bei dem Malprogramm *Painter* zum Beispiel deutlich zu sehen ist; dennoch ist jener Punkt noch nicht erreicht, der das Denken vor dieser simulierten Staffelei erübrigen würde. Das Umherwandern in Menüs, in denen zu jedem Malmittel die etwa fünfzig möglichen Methoden seiner Verwendung explizit gemacht sind durch eine verbale Beschreibung, ausgewählt werden müssen, unterbrechen den Fluß der impliziten Programmatik der Verfahrensweise und bildet Brüche im Kontinuum des unbewußten Machens.

Gerds [Gerds 1988] stellt eine Zunahme rationaler Anteile in der Ausbildung von Facharbeitern fest und zeigt am Beispiel von Kraftfahrzeugmechaniker-Lehrlingen deren starke Abhängigkeit von irrationaler Symbolik. Gehörte früher zum Technischen Zeichnen noch freies künstlerisches Gestalten, z. B. das Zeichnen einer Vase, so wird heute nur noch zweckrationales Handeln vermittelt (z. B. Vermaßen), das durch die Rechnerunterstützung eine zunehmende Verdichtung erfährt.

Es ist zu vermuten, daß eine Abnahme künstlerischer, gefühlsbetonter Ausbildungsanteile den Menschen manipulierbarer macht, da eine Auseinandersetzung mit seinen Bedürfnissen ("Trieben") und deren soziale Einordnung nicht stattfindet. Nur wer seine Bedürfnisse kennt und damit umzugehen weiß, ist gegen Manipulation gewappnet. Um seine Bedürfnisse zu kennen, muß man für Gefühle sensibilisiert sein. Das Unbewußte muß an die Oberfläche kommen dürfen. Dazu ist das Träumen hilfreich. Heutige Rechnerarbeit führt zu einer rationalen Konzentration, die diesem Ziel entgegensteht. Entsinnlichung des Umgangs, Übernahme des Rechnerrhythmus', ständige Brüche in den Gewohnheiten und Fesselung der eigenen an die Extremitäten der Maschine sind Merkmale sogenannter Mensch-Computer-Schnittstellen. Hier wäre ein Anknüpfungspunkt für die Einübung jener Fähigkeiten, von denen Cézanne und Kandinsky gesprochen haben.

Noch eins kommt hinzu in diesem Zusammenhang: das spielerische Moment, das bei aller Ernsthaftigkeit künstlerischer Produktion dieser anhaftet. Spielerische Momente sind aber nicht nur Dimensionen künstlerischer Produktion - nicht von ungefähr kursiert hier der Begriff des spielerischen Umgangs mit den bildnerischen Mitteln - sondern, wie Schiller betont, ist der Spieltrieb ein unabdingbares menschliches Merkmal. "Denn, um es endlich auf einmal herauszusagen, der Mensch spielt nur, wo er in voller Bedeutung des Wortes Mensch ist, und er ist nur da ganz Mensch, wo er spielt."

3.4 Die Ingenieurwissenschaften

Nach Weizenbaum ist die Entwicklung technischer Geräte eine vorrangig rationale Verstandesleistung und nur möglich, indem wir ihre Verwendung antizipieren und sie auch wissenschaftlich durchdringen [Weizenbaum 1976]. Die Idee gehe der Handlung voraus. Diese wissenschaftsdominante Sicht teilen wir nicht. Zwar sind heute abstrakte und konkrete Maschinen nicht ohne wissenschaftliches Fundament und Theorien denkbar. Ebensovichtig und nicht nachrangig scheint uns aber das nichtrationale, emotionale, praktische, handwerkliche Erschließen der Realität zu sein. Gerade der kreative, der jeweils über wissenschaftliche Erkenntnis und logische Stringenz hinausreichende experimentelle Akt führt zu neuen Produktionsmitteln und Produkten. Wissenschaftliche Theorien (z.B. Strömungslehre) können einen wichtigen Beitrag zur Überprüfung der Lebensfähigkeit und Überlebensfähigkeit gestalteter Erfindungen leisten, nicht aber ihre Quelle sein. Feyerabend [Feyerabend 1992] ist wegen der relativen Bedeutung wissenschaftlicher Erkenntnis gegen jeglichen Methodenzwang und sieht die besondere Aufgabe wissenschaftlicher Arbeit darin, das Allgemeine zu gestalten, indem es an das Besondere gebunden wird und das Besondere in allgemeinen Begriffen erklärt wird. Diese Aufforderung zur Perspektivenvielfalt und zur Dialektik des Machens und Reflektierens, der Verallgemeinerung und Bindung an das Besondere soll Leitlinie für die Werkstattperspektive sein.

Lohman [Lohmann 1953] hebt den Unterschied des Erkenntnisstandes in mathematisch-naturwissenschaftlichen Wissenschaftsdisziplinen, wie der Technischen Mechanik, und technologischen Disziplinen, wie der Mechanischen Technologie, hervor. Haben die ersteren bereits eine Stufe von Induktion und Deduktion erreicht, so befinden sich die letzteren noch im Stadium der Analyse und Synthese. Die Technologie ist zunächst eine reine Erfahrungswissenschaft. Ihr Suchen gründet sich zwar auf Probieren, nicht aber auf das planmäßige Experiment. Sie "treibt Variationstechnik, ist Probelei mit einem guten Schuß Glück". In vielen Generationen wird eine Summe von Erfahrungen gewonnen, die zuerst einmal genau beschrieben und angewendet, aber nicht erklärt, begründet, nachrechenbar, beweisbar und planmäßig weiterbauend gemacht werden können. Sie ist ein "Rezeptbuch der Verfahren". Die Technologie als Wissenschaft beginnt erst mit der systematischen Ordnung ihres Inhaltes. Das Systematisieren bringt erst die Erkenntnis des Wesentlichen des technologischen Prozesses und seiner Hilfsmittel. Das Systematisieren fußt auf der Analyse. Die Vielfalt technologischer Möglichkeiten zu wissen hat wissenschaftlich wenig Wert. Vielmehr müssen die technologischen Bausteine aus der Vielfalt der Erscheinungen "herauspräpariert" werden, um zum Wesentlichen, d. h. zur Erkenntnis zu kommen.

3.5 Informatikkonzepte

Konkretheit mit einsichtigem Bezug zum Abstrakten, Sinnlichkeit und Relativierung logisch-rationaler Dimensionen sind Forderungen, die sich aus einer Werkstattperspektive an Rechnerprogramme ergeben.

Der in der Simulationstechnik seit den frühen 80er Jahren verwendete Ansatz, reale Objekte durch abgegrenzte rechnerinterne Objekte abzubilden, die eine lokal definierte Funktionalität, ein Angebot von definierten Diensten an ein Äußeres mit großer Verteiltheit und die Möglichkeit der Klassenbildung und Vererbung von Merkmalen

haben, wird zunehmend durch einfach zu handhabende Entwicklungssysteme zu unterstützen versucht. Dieser Ansatz kommt unserer Sicht entgegen.

Objektorientierte Modellierung

Charakteristisch für den objektorientierten Entwurf ist der Versuch, das jeweilige Anwendungsfeld (z.B. die Steuerung einer Anlage) im Computer in Form dezentraler Objekte zu rekonstruieren. Dabei wird davon ausgegangen, daß ein solches Anwendungsfeld als Gesamtheit von Objekten (Dinge, Orte, Ereignisse usw.) aufgefaßt werden kann, in denen die unterschiedlichen Objekte in einer gewissen Beziehungen zueinander stehen und sich im Zeitablauf ändern sowie wechselseitig beeinflussen können (vgl. [Goldberg & Robson 1989], [Meyer 1990], [Booch 1991]).

Soll ein Weltausschnitt auf dem Computer nachgebildet werden, so werden die realen Objekte durch Software-Objekte in einer ähnlich strukturierten "Welt" repräsentiert. Kay [Kay 1985], ein Begründer des objektorientierten Softwaresystems SMALLTALK, faßt dies unter "computing is simulation" zusammen. In diesem Sinne ist Simulation eng mit objektorientierter Softwareentwicklung verbunden (vgl. [Nygaard & Dahl 1981]).

Die Realisierung des objektorientierten Konzeptes erfolgt mit Objekten und Botschaften. Ein Objekt setzt sich aus zwei Teilen zusammen:

- aus lokalen Daten, die seinen inneren Zustand beschreiben und
- aus einer Menge von Operationen (Methoden), mit denen sich die lokalen Daten manipulieren lassen und Dienste für externe Objekte realisiert werden.

Die Programmierung in objektorientierten Sprachen erfolgt durch Senden von Nachrichten an Objekte. Durch den Empfang von Nachrichten können Objekte ihren Zustand verändern oder Informationen über ihren Zustand an den Sender zurückgeben.

Bei der Analyse und dem Design softwaretechnischer Systeme werden beim objektorientierten Entwurf folgende methodische Orientierungen verfolgt:

1. Abstraktion: als eine perspektivische Konzentration auf wesentliche Merkmale eines Objektes und als Abgrenzung gegenüber dem Rest;
2. Kapselung: als Prozess der Verdeckung aller Details eines Objektes, die nicht zu seinen wesentlichen Merkmalen beitragen;
3. Modularität: als Eigenschaft eines Systems sich in schwach gekoppelte Bestandteile zerlegen zu lassen;
4. Hierarchie: als geschichtete Struktur von Abstraktionen;
5. Kontinuität: als Eigenschaft eines Systems in Raum und Zeit zu überdauern;
6. Bildung von Klassen und Objekten: Objekte haben eine Identität, einen Zustand und ein Verhalten;
7. Beziehungen zwischen Objekten in Form von Meldungen.

Einen anwendungsorientierten Ansatz, der diese Prinzipien anschaulich illustriert, stellt Booch [Booch 1990] dar, der dieses Konzept durch viele Praxisbeispiele und Implementierungen verdeutlicht.

Wir gehen davon aus, daß die objektorientierte Programmierung für prototypische Entwicklungen anderen Konzepten überlegen ist, weil sie die unmittelbare Kooperation von Entwicklerinnen und Benutzern vereinfacht. Vor allen Dingen deshalb, weil hier die Möglichkeit gegeben ist, die unterschiedlichen Aspekte eines Anwendungsbereiches unabhängig von programmiertechnischen Details beschreiben zu können. Die objektorientierte Systementwicklung läßt sich als ein Versuch auffassen, die Kluft zwischen unserer Art zu denken und den Erfordernissen der Software zu überbrücken.

Zahlreiche Ansätze existieren, die objektorientierte Methodik auch auf den produktionstechnischen Bereich anzuwenden (vgl. [Grobels, Kilger, Rude 1992]). Besonders hervorzuheben sind noch die inzwischen recht einfachen Möglichkeiten, bidirektionale Assoziativität durch logische Verbindungen herzustellen, wie z. B. bei Hypertext und ToolBook (Sprünge vor und zurück), Smalltalk (Model-View-Control-Kopplung), die Realisierung des Klassen- und Vererbungsprinzips in industriell eingesetzten Sprachen (C++).

Lokalität, Vererbung und Meldungsbezogenheit sind Prinzipien, deren Eignung für die angestrebte Sicht in prototypischen Realisierungen untersucht wird.

Die Werkstattarbeit als Tätigkeit des Erzeugens, Fertigens und Gestaltens ist unter anderem dadurch gekennzeichnet, daß mit Hand- oder Werkzeugoperationen drei-dimensionale Objekte be- und verarbeitet sowie transportiert werden. Form, Lokalität und Dynamik spielen hierbei eine zentrale Rolle. Sie gilt es daher, in einem ersten Ansatz zu modellieren.

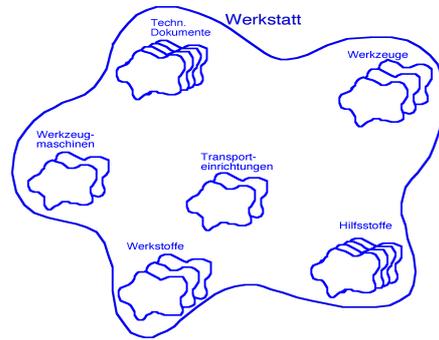


Abb. 3 - 15: Elementare Anwendungsobjekte in der Werkstatt

4. ANSÄTZE, BAUSTEINE, FRAGMENTE

4.1 Ansatz einer Werkstattperspektive

Eine Werkstattperspektive bei der Entwicklung und Nutzung von Rechnersystemen für die Produktion hat im hier angestrebten Sinne folgende Merkmale:

- Unterstützung der Reintegration von Arbeit,
- Erfahrungs- und Qualifikationsorientierung,
- Handhabbarkeit und Steuerbarkeit,
- Sinnlichkeit,
- Unmittelbarkeit und Realitätsbezug.

Sie steht im Gegensatz zur Systemperspektive, einer systemischen oder kybernetischen Sicht, die, wie Ehn [Ehn, 1988] hervorhebt, dazu verführt,

- Anwendungen aus der Organisationsspitze zu sehen,
- Organisationen als formal beschreibbare Strukturen zu sehen,
- Arbeit auf algorithmische Prozeduren zu reduzieren,
- Menschen und Computer als informationsverarbeitende Systeme anzusehen.

Nun ist Softwareentwicklung auch Systementwicklung, denn ein Computer ist ein technisches System. Eine notwendige Dimension der Entwicklungstätigkeit muß daher immer auch die systemische Denkweise sein. Es entsteht also ein permanenter Widerspruch zwischen systemischer und nichtsystemischer Entwicklungssicht, der endgültig nicht auflösbar ist, den es aber gilt, bewußt zu machen.

Der vorliegende Ansatz geht in die Richtung, die Welt mit ihren realen Objekten als Werkstatt zu sehen. Die Benutzungsoberfläche ist nicht die des Rechners, sondern die der funktional erlebten Welt. In diesem Sinne wird sie zwar auch formalisiert und vermessen, aber durch direkte Operationen des Menschen. Dies ist ein entscheidender Perspektivwechsel.

Handhabbarkeit heißt hierbei nicht, den Rechner menschenähnlicher zu machen (indem wir ihn sehen, sprechen, "fühlen" lassen), sondern wieder stärker auf die menschlichen Sinne zu setzen.

Handhabbar sind Systeme, die es erlauben, sie in einer Weise zu erschließen und zu nutzen, die den jeweiligen Erfahrungen der Nutzer entsprechen. Ein neues System mit alten Begriffen und Vorstellungen zu erschließen, soll nach Carrol und Thomas [Carrol & Thomas 1982] *metaphorischer* Zugang genannt werden. Wenn die vorfindlichen Erfahrungen auf Anwenderseite unterschiedlich sind, sich mit der Zeit ändern und neue Systeme neue Qualifikationen erfordern und unterstützen, werden viele Metaphern und metaphorische Übergänge benötigt. Wo ist zu beginnen? Warum nicht mit der "*Autometapher*", das soll heißen, mit der sich selbst über den Menschen abbildenden Wirklichkeit?

Voraussetzung für eine Weiterentwicklung dieser Autometapher ist eine möglichst große Vielfalt der Schnittstellen des Rechners. Eine Art Töpferinterface wäre gut geeignet. In Ermangelung eines solchen Töpferinterfaces behelfen wir uns mit einem Datenhandschuh. Dies ist ein mit Sensoren ausgestatteter Handschuh, mit dem Daten über die Orts- und Lagepositionen der Hand sowie die Beugung der Finger an den Rechner übergeben werden

können. Mit dieser sensorisierten Hand wollen wir uns den in Kap. 2 vorgestellten typischen Tätigkeiten einer Werkstatt nähern. Charakteristisch für die Werkstatt ist

- der sinnliche Umgang mit Dingen: das Bewegen, das Formen, das Zeigen, das Messen, das Rechnen, das Steuern, das Beobachten sowie
- die Kommunikation mit Menschen.

Eine Autometapher bedeutet dann, mit den Dingen zunächst so umzugehen, wie sie real existieren und wie es der Gewohnheit entspricht. Um es an der Desktopperspektive aufzuzeigen: der Rechner wird nicht *wie* ein Schreibtisch mit Aktenordnern, Papierstapeln, Ablage, Papierkorb benutzt, sondern der Schreibtisch wird *als* Schreibtisch genutzt und die hier stattfindenden Aktionen werden bei Bedarf vom Rechner analysiert, variiert oder archiviert. Dasselbe gilt für die Werkstattperspektive.

Technische Systeme könnten konstruiert oder gebaut werden, indem ihre Struktur zunächst in grober Form mit realen Elementen, z. B. Bausteinen eines Mechanik-, Elektro- oder Pneumatikbaukastens oder Holzmodellen von Wohnungs-, Büro- und Werkstatteinrichtungen erstellt wird. Diese handgreiflichen Systementwürfe sind Grundlage der Kommunikation und des Diskurses sowie auch der Phantasien und Träume. Erst im zweiten Schritt, der rationalen Analyse, wird der Rechner als Hilfsmittel benutzt. Diese Rückgewinnung von Sinnlichkeit im Umgang mit dem Rechner (s. [Bruns, 1993]) bedeutet nicht nur eine Änderung der Benutzungsoberfläche des Rechners, sondern soll es ermöglichen, die Funktionen des Rechners im Arbeitszusammenhang neu zu bestimmen: *den Rechner im Rücken* zu haben. Dieses Im-Rücken-Haben soll aber nicht so erfolgen, wie es Negroponte [Negroponte 1991] in seiner Theatermetapher anstrebt, als unsichtbare und vom Anwender unbeeinflussbare Welt der Sensor-Akteure, sondern als Im-Rücken-und -im-Griff-Haben. Die Anwenderin behält die letzte Kontrolle über ihre Verbindung mit dem Rechner.

Die technischen Objekte der Werkstatt haben unter anderem folgende Eigenschaften:

- räumliche, mit Form und Lokalität, Beziehungen zueinander nach Teilestrukturen (Part-Hierarchien), Enthalten-Sein;
- physikalisch-chemische, mit Substanz (chemisch) und Struktur (Ordnung), sind starr oder flexibel, nah- oder fernwirkend gekoppelt, erlauben manchmal lokale Betrachtungen;
- Interaktionseigenschaften, (Request-indication-response-confirmation, Model-View-Control usw.)

Diese Objekte sollen direkt manipuliert werden, d. h. es wird eine Taxonomie der Manipulationen benötigt. Abb. 4 - 1 zeigt einen ersten Schritt in diese Richtung. Handgriffe, die diesen Konstellationen innerhalb einer vorgegebenen Toleranz ähnlich sind, lösen im Rechner entsprechende Ereignisse aus, die durch entsprechende Programme verarbeitet werden. Um dem Rechner Anweisungen zu geben, wie er mit den manipulierten Objekten verfahren soll, wird eine Zeichensprache benötigt. Diese darf die gerade gewonnene Freiheit aber nicht wieder einschränken. Tastatur und Maus scheiden daher aus. Stattdessen soll Sprache und Gestik eingesetzt werden. Ein Ansatz zur Gestik und eine prototypische Realisierung werden im folgenden Abschnitt dargestellt.

Griffe



Abb. 4 - 1: Taxonomie der Griffe

Was mit Werkstattorientierung in der täglichen Entwicklungsarbeit von Ingenieurinnen gemeint ist, soll an einem konkreten Beispiel erläutert werden. Es geht um die Spezifikation, Bewertung, Konstruktion, den Bau, die Integration und den Betrieb einer Anlage zur Be- und Entladung von Containerschiffen (Containerbrücke) (vgl. [Bruns et al. 1992]).

Die traditionelle Vorgehensweise bei der Lösung des obigen Problems würde wie folgt aussehen:

1. Vorgabe von Randbedingungen (Schiffsgröße, Containergröße usw.) und Zielvorstellungen (z. B. Kosten),
2. Spezifikation der Anforderungen
3. Konstruktion der Anlage (Prinzipskizze)
4. Machbarkeitsanalysen
 - Integrierbarkeit in den Betrieb
 - Durchsatzrechnung
 - Statikberechnungen
 - Schwingungsberechnungen
 - Steuerungs- und Synchronisierungsanalysen
 - Akzeptanzbetrachtungen (Betriebsvereinbarungen)
5. Optimierung der Anlage
6. Detailkonstruktion der Anlage
 - mechanisch, elektrisch, elektronisch, steuerungstechnisch
7. Modellbau der Anlage

8. Modellanalyse, dynamische Studien
9. Erstellung der Fertigungsunterlagen
10. Fertigung und Aufbau der Anlage
11. Test und Inbetriebnahme
12. Schulung der Anlagenbetreiber
13. Betrieb und Instandhaltung

In dieser oder ähnlicher Reihenfolge, mit iterativen Sprüngen vor und zurück innerhalb des nicht starr einzuhaltenden Ablaufes, werden heute derartige Systeme gebaut. Der Rechner wird an unterschiedlichen Stellen isoliert und punktuell als Hilfsmittel eingesetzt. So z. B.

- als Textverarbeitungs- und Kalkulationsmittel in 1
- als Strukturierungsmittel in 2
- als Zeichenmittel in 3 und 6
- als Berechnungsmittel in 4 und 5
- als Ordnungsmittel in 9
- als Steuerungsmittel in 10, 11, und 13

Ein integrierter Einsatz des Rechners ist selten und wenn, so ist seine dominierende Rolle nicht zu übersehen, er stellt immer einen Medienbruch zu traditionellen Arbeitsweisen her.

Ein alternatives Vorgehen nach der hier skizzierten Werkstattperspektive würde wie folgt aussehen:

1. Festlegung der Randbedingungen und Aufbau elementarer Rechner-Welt-Beziehungen (Verbindung realer Objekte mit rechnerinternen Modellbausteinen);
- 2.-3. Erarbeitung einer Prinziplösung außerhalb des Rechners mit Hilfe von Handskizzen und Modellelementen; simultane Aufzeichnung im Rechner;
- 4.-8. Untersuchung der Machbarkeit sowohl mit realen Modellen als auch solchen im Rechner mit Hilfe der Simulation. So kann bereits der Prototyp einer Anlage in seinem dynamischen Verhalten untersucht werden (erweiterte Mock-Up-Technik);
- 9.-12. Mit Konkretisierung der Anlage entsteht in der Realität und im Rechner ein Modell, das sowohl für die Steuerung der zu bauenden Anlage, als auch für Schulungs- und Diagnosezwecke in einem Simulator geeignet ist;
13. Durch die Existenz einer unter bestimmten Aspekten genauen Modells der Realanlage sind während des Betriebes zahlreiche Fragestellungen leichter am Modell als an der Anlage zu untersuchen, z. B.:
 - Prognosen des Anlagenverhaltens bei bestimmten Umgebungsbedingungen (Auftragsstruktur, Störungen),
 - Suche nach der Ursache für bestimmte Fehler,
 - Anpassung an veränderte Betriebsbedingungen und Erweiterungen.

Diese enge Bindung zwischen Realität und Rechnermodell hat den entscheidenden Vorteil, daß der Rechner nur für Aufgaben eingesetzt wird, bei denen er eine Hilfe darstellt. Die Kunst der Softwareentwicklung besteht dann darin, ein überzeugendes Spannungsfeld zwischen dem Verharren bei Vertrautem und der Hinwendung zu Neuem aufzubauen (vgl. [Brown 1986]).

4.2 Prototypische Realisierungen

4.2.1 Prototyp: Werkstatt-Layoutplanung mit Modellen

Mit diesem Prototyp soll demonstriert werden, wie die Modellierung geplanter technischer Anlagen mit einem materiellen Modell (Klötzenwelt) realisiert werden kann (vgl. [Bruns 1993]). Dabei kann ein reales Modell aufgebaut, variiert und erweitert werden.

Die Benutzungsschnittstelle ist nicht der Rechner, sondern die funktional vorgefundene Welt. Der Rechner tritt ganz in den Hintergrund und dient nur dazu, Informationen über die Objekte zu speichern (u.a. Position, Form). Eine einfache graphische Visualisierung der Szene dient zur Kontrolle der einzelnen Objekte. Als Eingabeschnittstelle wird ein Datenhandschuh benutzt, mit dem reale Modelle (z. B. Holzmodelle) berührt, gegriffen und bewegt werden können.

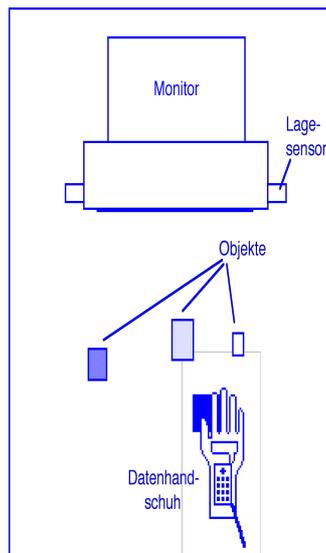


Abb. 4 - 2: Prototyp 1: Werkstatt-Layouterstellung mit Modellen

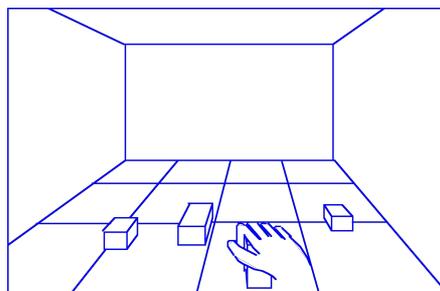


Abb. 4 - 3: Prototyp 1: Visualisierung des Modells im Rechner

Objekte als Grundelemente der Implementierung

Ausgehend von dem Ansatz, "Weltausschnitte" zu modellieren, definieren wir eine *Welt* bestehend aus einem quaderförmigen Aktionsraum und einfachen geometrischen Objekten, die beliebig in diesem Raum platziert werden können. Jedes Teil dieser *Klötzchenwelt* (Hand, Aktionsraum, Einzelkörper) wird durch ein Anwendungsobjekt repräsentiert. Die Eigenschaften und Zustände sowie das Verhalten der Objekte (z. B. Hand greift, Körper wird platziert) sind in Klassen definiert, die über eine Vererbungsstruktur allgemeine Eigenschaften zu speziellen verfeinern. Durch solche Klassenhierarchien erhält man redundanzarme Beschreibungen von komplexen Konzepten, die beliebig erweiterbar sind. Es ist möglich, in weiteren Schritten, den Übergang von einer Klötzchenwelt zu komplexeren Modellen zu realisieren.

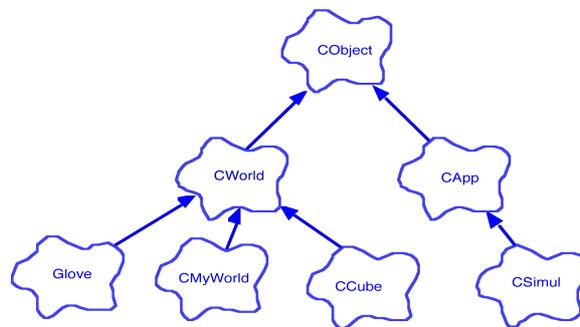


Abb. 4 - 4: Klassen - Diagramm

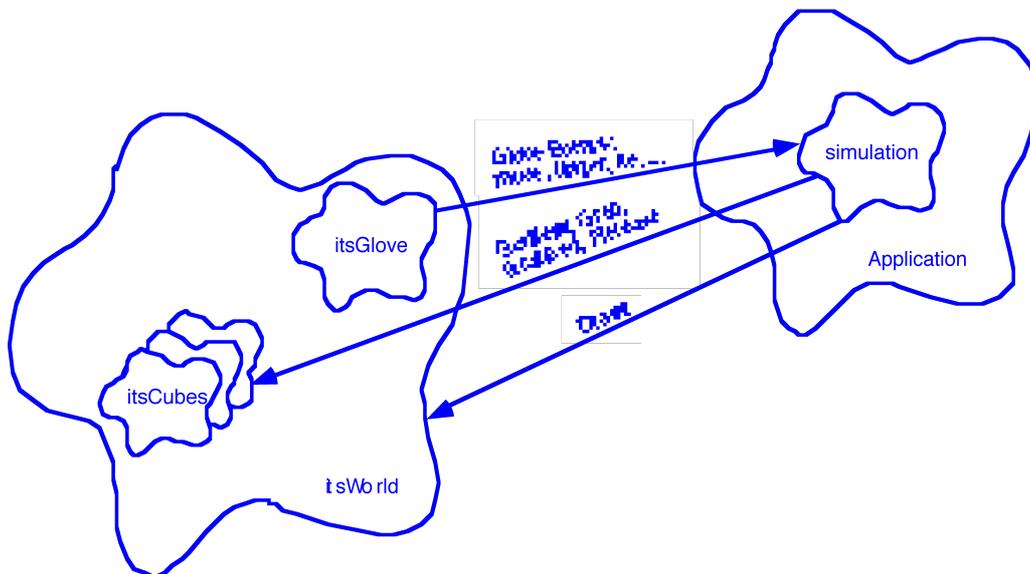


Abb. 4 - 5: Objekt - Diagramm

Die Zustände der jeweiligen Objekte werden durch Instanzenvariablen, ihre Funktionalität durch Methoden beschrieben. Die einzelnen Objekte, wie Datenhandschuh, Körper im Aktionsraum usw. interagieren durch Austausch von Meldungen miteinander. Ein geometrisches Objekt bekommt z. B. die Meldung *Grab*, wenn es mit dem Datenhandschuh gegriffen wurde. Auf diese Weise lassen sich alle Aktionen modellieren, unabhängig davon, wie die jeweilige Anwendung im Einzelfall aussieht. Im folgenden soll eine kleine Liste von Meldungen, die vom Objekt Datenhandschuh an andere Objekte gesendet werden, das Konzept verdeutlichen:

	Meldung	Aktion, Zustand
1	Grab	Objekt wurde gegriffen
2	Release	Objekt wurde wieder losgelassen, es fällt zu Boden
3	Grabbed	Objekt wird festgehalten und bewegt usw.
4	NewCube	Ein neues Objekt wird im Aktionsraum erzeugt: es <i>lebt</i> in einer <i>Welt</i> und kann mit einem Datenhandschuh Meldungen austauschen

Tabelle 4 - 1: Liste einiger "Glove-Meldungen"

Wir wollen uns in diesem Zusammenhang auf konzeptionelle Überlegungen beschränken. Die Realisierung wird ausführlich von Müller [Müller 1993] dargestellt. Bei unseren Entwicklungen haben wir versucht, folgende Prinzipien zu verwirklichen:

1. Objektorientierung auf der Basis der *Standardsprache* C++
2. *Portabilität* und damit Verfügbarkeit auf verschiedenen Systemen
3. *Übersichtlichkeit* und *Erweiterbarkeit*

Abbildung 4 - 6 zeigt das vorläufige Ergebnis unserer Prototypentwicklung. Dargestellt ist eine Klassenbibliothek, die im Verlauf der Implementierungsarbeiten entwickelt wurde. Diese Klassenbibliothek kann als Basis für Anwendungen (application framework) betrachtet werden, die die Funktionalität eines Datenhandschuhs in der skizzierten Weise nutzen. In dieser Bibliothek sind die generellen Strukturen sowie die grundsätzlichen Eigenschaften und Funktionalitäten einer Applikation beschrieben.

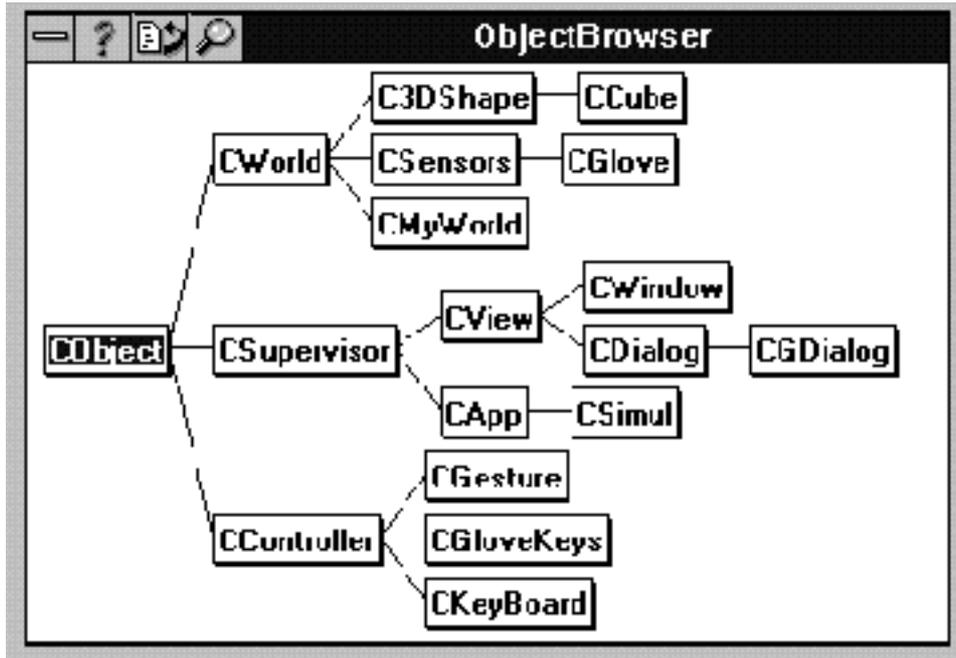


Abb. 4 - 6: Allgemeine Klassenübersicht - Application Framework

Viele Ideen, die wir beim Implementieren, Probieren und Experimentieren hatten, konnten nur angedacht werden. Vieles wurde nur im Ansatz umgesetzt. Eine Menge Fragen sind noch offen, darunter:

- Wie könnte eine Einbindung in ein CAD System aussehen ?
- In welcher Richtung kann die Klassenbibliothek erweitert werden ?
- Ist eine Einbindung des Datenhandschuhs in ein Hypertextsystem sinnvoll ?
- Wie könnte ein Playback-Verfahren realisiert werden ?

4.2.2 Prototyp eines vielseitigen Produktionssimulator

Die im folgenden beschriebenen prototypischen Realisierungsansätze sind Versuche, einen Simulationsbaukasten für berufliche Qualifizierungsprozesse zu entwickeln.

Ausgangspunkt der Überlegungen war die Idee, einen Baukasten für die Simulation vernetzter Produktionssysteme zu realisieren, der es ermöglicht, im Gegensatz zu den verfügbaren Simulatoren Objekte aus dem Bereich Produktion aus unterschiedlichen *Perspektiven* betrachten zu können. Daraus ergaben sich wichtige Merkmale für ein entsprechendes Simulationssystem:

- Simulationmöglichkeiten auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen,
- leichter Perspektivenwechsel,
- Komponentenvielfalt und -heterogenität und
- Möglichkeit zur Modellierung alternativer Organisationsformen.

Die Perspektivenvielfalt, die ein solches Lernsystem bieten kann, wird durch Tabelle 4 - 2 verdeutlicht.

	Schichten/ Ebenen	Aktivitäten/ Handlungen	Bausteine/ Objekte	Werkzeuge/ Hilfsmittel
--	----------------------	----------------------------	-----------------------	---------------------------

1	Gesamtsystem	konzipieren, reflektieren (Bezugsfeld: Mensch-Arbeit- Technik)	Konstruktion, Fertigung, ("Bausteine der Fabrik")	3 D - Szenario Netzeditor Fabriksimulator
2	Objektebene	strukturieren, definieren, beschreiben	Anlagen, Systeme, Maschinen,	Fabriksimulator
3	Prozeß-/ Funktions- ebene	spezifizieren, modellieren, programmieren, kontrollieren	CNC-Maschine, Industrieroboter CAD-System	Programmier- u. Entwicklungs- systeme, Simulatoren
4	Aktivitätsebene	untersuchen, experimentieren, entdecken	Komponenten, Elemente z. B. Kinematik, Mechanik, Werkstoffverhalten	Modellbildungs- systeme Tabellenkalkula- tionen
5	Prinzipiebene	erkennen	math., physikalische Gesetze	Animation Simulation

Tabelle 4 - 2: Mehrebenenensimulator

Die prototypische Realisierung eines solchen Konzeptes erfolgte auf der Basis hypermediaorientierter Ansätze und Hilfsmittel. Durch Hypermediasysteme sind Möglichkeiten geschaffen, die mit traditionellen Softwaretools nur mühsam realisierbar sind. Hierzu zählen insbesondere

- weiterreichende Möglichkeiten der Datenverknüpfung,
- ganzheitliche Sicht auf den Anwendungsbereich,
- Unterstützung verschiedener Sichten,
- Unterstützung einer individuellen Vorgehensweise,
- Einbindung verschiedener Medien,
- Animation dynamischer Abläufe,
- leichte Anpaßbarkeit der Software an neue Anforderungen,
- Integration von einzelnen Spezialapplikationen unter einer einheitlichen Oberfläche,
- Tendenzielle Aufhebung der Trennung zwischen Anwender und Entwickler (Programmierer).

Dazu kommt, daß heute vorfindbare Produktionssysteme und ihre Vernetzung untereinander selbst Hyperstrukturen bilden, also die zum Einsatz kommenden Softwarewerkzeuge die Struktur der realen Objekte widerspiegeln.

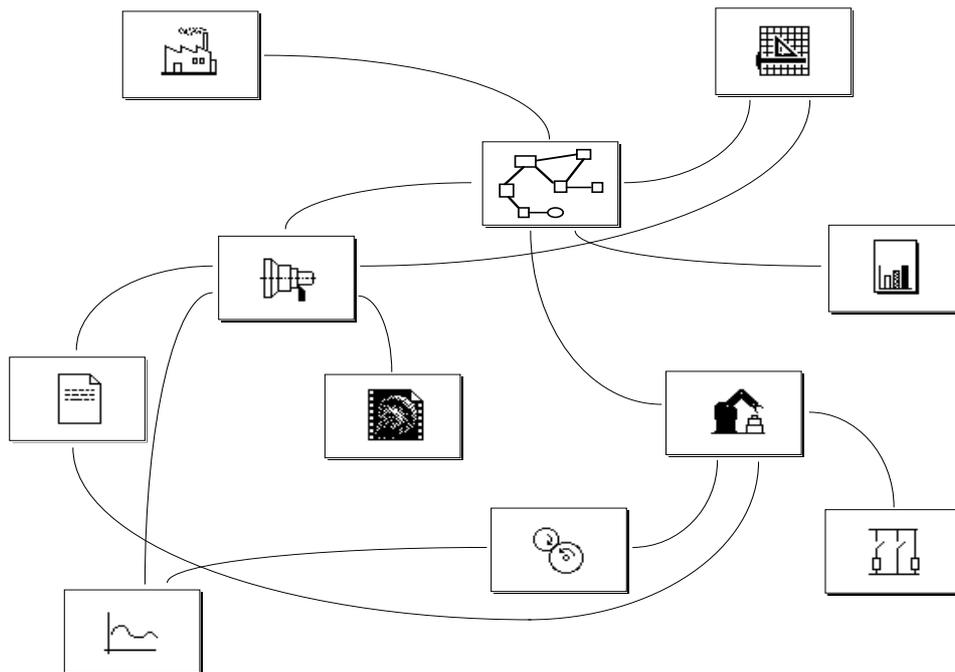


Abb. 4 - 7: Produktionsbetrieb: Hyperstrukturen

Wie könnte ein Simulationsbaukasten auf der Basis von Hypermedia aussehen? Ein solches System müßte als Experimentierbaukasten, als multimediale interaktive Lernumgebung konzipiert werden. Dazu sollte es mit einer einheitlichen auditiven, visuellen und haptischen Benutzungsschnittstelle versehen sein. Alle Bedienfunktionen müßten auf der Basis werkstatt- und erfahrungsorientierter Metaphern konzipiert und gestaltet sein. Informationssysteme, Animationen physikalischer und mathematischer Grundlagen (Prinzipien) sowie anwendungsbezogene Prozeßsimulationen und auch reale Prozesse müßten integrierbar sein (vgl. [Bruns 1990]). Neben der Berücksichtigung einzelner technischer Systeme wäre auch die Modellierung und Simulation kompletter Produktionsprozesse auf unterschiedlichen Ebenen möglich.

Auf diese Weise wären unterschiedliche Werkzeuge und Hilfsmittel für organisatorische, planende, koordinierende, steuernde, überwachende, wartende, instandhaltende und informierende Tätigkeiten verfügbar. Eine solche Lernumgebung wäre geeignet für die Vermittlung von Fertigungswissen und Planungsfähigkeit im weiteren Sinne (Materialeigenschaften, Zerspanungsprozeß, Werkzeuge, Werkzeugorganisation, Materialplanung usw.). Offenheit des Simulators im Sinne freier Konfigurierbarkeit und Erweiterbarkeit sowie kooperationsfördernde Kommunikationsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Arbeitsplätzen sind Forderungen, die technisch erfüllbar sind.

Einzelkomponenten eines derartigen Systems existieren bereits, wie z. B. das Lernprojekt "Mechanical Universe" von Blinn [Blinn 1987], frei konfigurierbare Mehrachsensysteme von Tauber und Schuster [Tauber & Schuster 1988], Animationsgeneratoren und Multimedienstationen von Dittes [Dittes 1989]. Auch verfügbare Simulatoren (CNC, Robotik, SPS) könnten in ein interaktives Hypermediakonzept mit einbezogen werden (vgl. [Müller 1987], [Müller 1990], [Bruns 1990]).

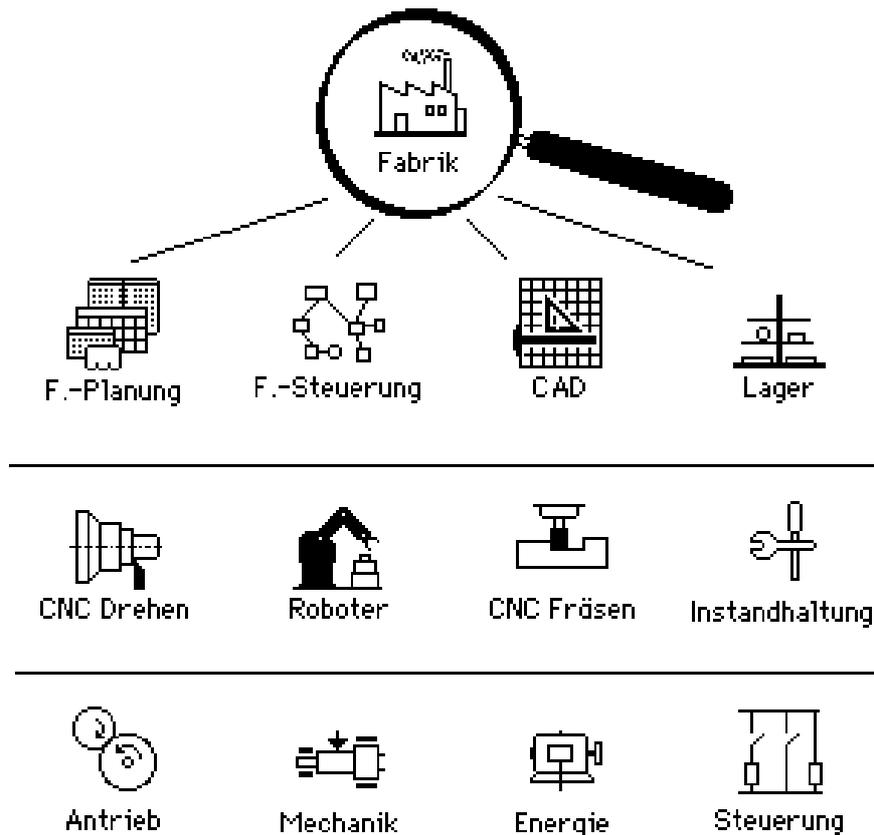


Abb. 4 - 8: Komponenten eines hypermediagestützten Simulationsbaukastens

Lernenden wird mit Hilfe eines solchen Simulationsbaukastens die Möglichkeit gegeben, das Wirkungsgefüge moderner Fertigungs- und Steuerungstechnik mit seinen komplexen Wechselwirkungen spielerisch zu erforschen und zu verstehen. Es wäre eine Lernumgebung vorhanden, die es gestattet, verschiedene Szenarien zu simulieren und eine Thematik aus verschiedenen Blickperspektiven (*Views*) zu betrachten: Benutzer und Benutzerinnen könnten sich frei in einer *Fabrik* bewegen, und Hilfsmittel benutzen, die die Orientierung erleichtern.

An verschiedenen Stellen (z. B. Arbeitsvorbereitung, Konstruktion, Fertigung) kann die Benutzerin stehenbleiben, um eine Thematik tiefer zu erforschen: Arbeitspläne können entwickelt, CNC-Programme getestet und ausprobiert werden. Störungen können simuliert und mögliche Konsequenzen erforscht, fehlende Informationen aus einer Datenbank abgerufen werden.

Folgende Stichpunkte zeigen die unterschiedlichen Aspekte, die im Rahmen eines *hypermediagestützten, modularen Simulationsbaukastens* integriert werden können:

- Produktionsplanung
 - Planung, Modellierung und Simulation von Produktionsabläufen
 - Simulation von Fehlerzuständen (z. B. techn. Störungen)
 - Gestaltungsalternativen
- Fertigungstechnik
 - Planen, Erstellen und Testen von CNC - Programmen
 - Kollisionsbetrachtungen

- Visualisierung von Zerspanungsprozessen
- Robotik
 - Planen, Erstellen und Testen von Steuerungsprogrammen
 - Veranschaulichung komplexer Kinematiken
 - Kollisionsbetrachtungen, Optimierung
- Steuerungstechnik
 - Planen, Erstellen und Testen von SPS - Programmen
 - Prozeßsimulation
- Informations- und Kommunikationstechnik
 - Algorithmen - Animation
 - Visualisierung von Datenübertragungsverfahren in lokalen Netzwerken,
 - Simulation von versch. Zugriffsverfahren
 - Simulation von versch. Rechner-Architekturen (CPU - Simulation)
- Elektrotechnik
 - Entwicklung von Schaltplänen
 - Simulation von Störungen.

Diese szenenhafte Darstellung ist inzwischen in einige kleine prototypische Umsetzungen eingeflossen. Im wesentlichen haben wir dabei Hypertextsysteme und Animationstools eingesetzt.

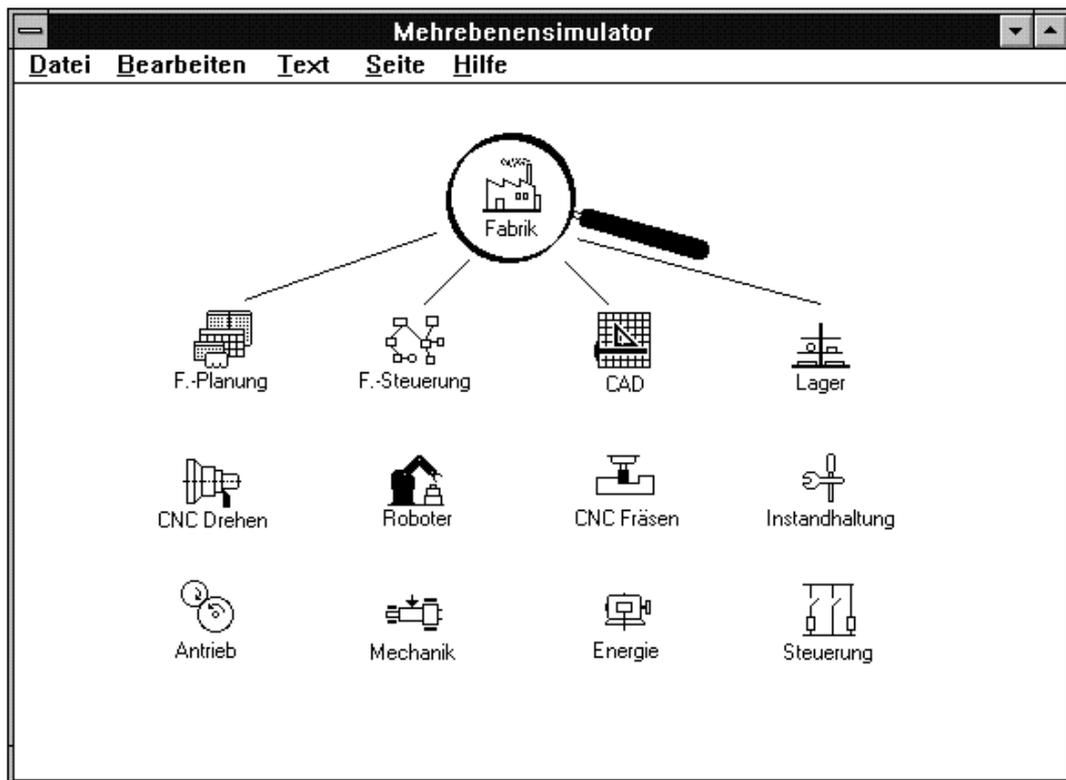


Abb. 4 - 9: Mehrebenensimulator (Toolbook)

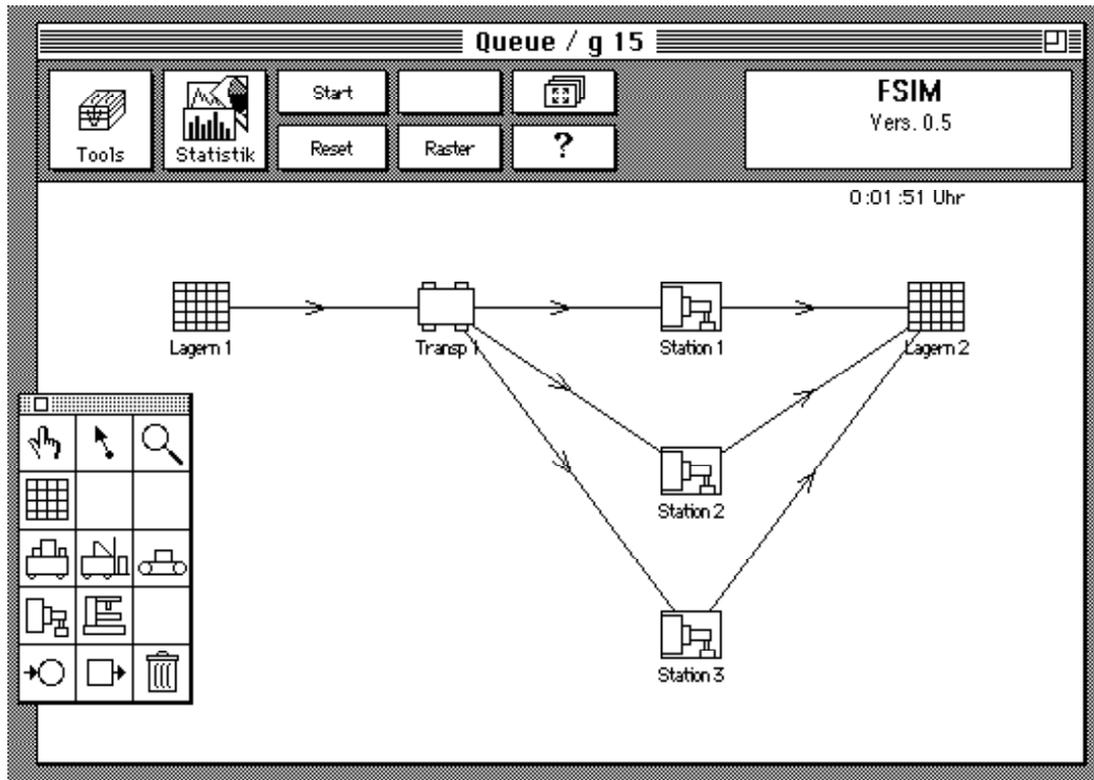


Abb. 4 - 10: FSIm - Simulator für Fertigungsplanung (Hypercard)

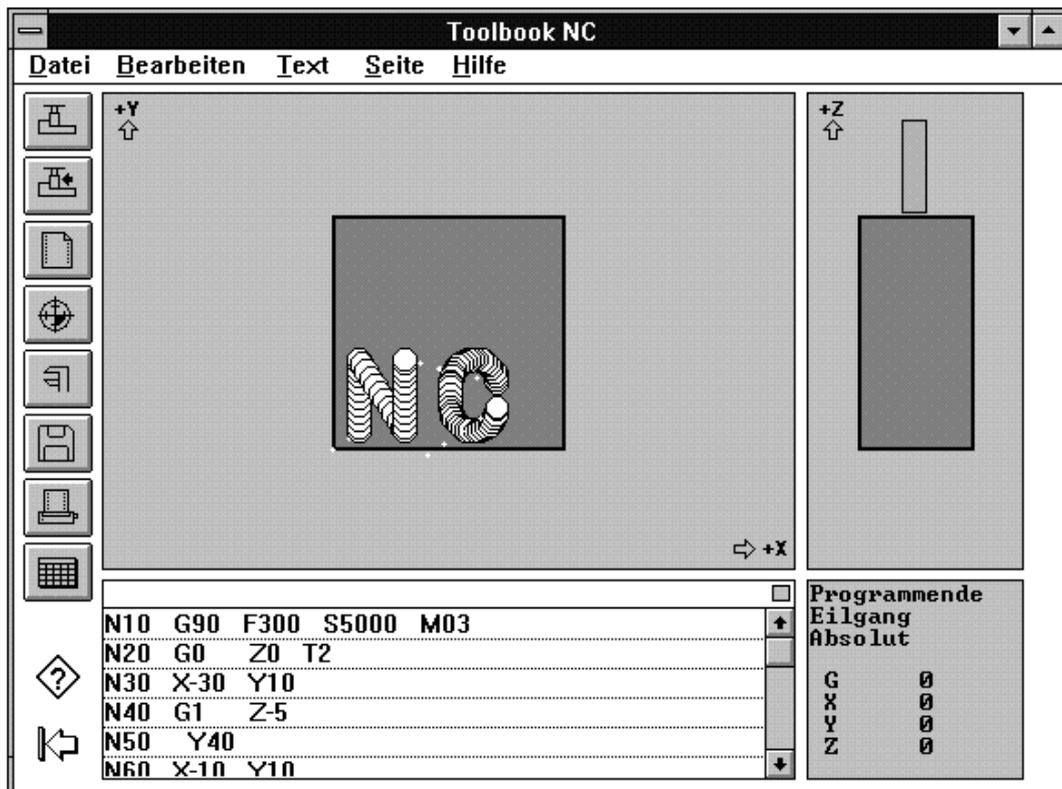


Abb. 4 - 11: Toolbook NC

Auflagerkräfte

File Bearbeiten Text Seite Hilfe

Auflagerkräfte

Die Auflagerkräfte bei Lagern und Wellenzapfen werden mit Hilfe des Hebelgesetzes berechnet. Bei der Berechnung der Auflagerkraft in A wird der Drehpunkt des einarmigen Hebels in B angenommen und entsprechend bei der Berechnung in B der Drehpunkt in A.

Auflagerkraft in A: $F_A \cdot l = F_G \cdot l_2$

Auflagerkraft in B: $F_B \cdot l = F_G \cdot l_1$

F_G : N

The diagram shows a horizontal beam of length $l = 300$. A downward force F_G is applied at a distance $l_1 = 82$ from the left support A and $l_2 = 218$ from the right support B. The reaction forces are $F_A = 1090$ N at A and $F_B = 410$ N at B.

Abb. 4 - 12: "Interaktives" Buch

4.2.3 Untersuchungen zur visuellen Darstellung, Orientierung und Interaktion

Der Sichtwechsel von der Schreibtisch- zur Werkstattumgebung legt nahe, über andere Formen der Visualisierung nachzudenken, insbesondere über Fragen der Visualisierung von Simulationen (vgl. [Heimbucher 1992]). Zu untersuchen wäre, ob Benutzungsoberflächen mit dreidimensionalen Darstellungen der Werkstattumgebung geeigneter sind als zweidimensionale, wie sie in relativ abstrakter piktogrammatrischer Form in der Büroperspektive verwendet werden. Dies wäre ein Schritt hin zu mehr mimetischen Darstellungsformen, der so bisher eher in Spielen ausprobiert worden ist und besondere Interfacetechniken erforderlich machen würde.

Erste experimentelle Darstellungen haben uns dazu geführt, dreidimensionale Darstellungen in unterschiedlichen Abstraktions- bzw. Konkretionsstufen zu entwerfen und als Hypertext- und interaktive Animationen auszuprobieren. Die erste Stufe bestand in überwiegend linear gehaltenen dreidimensionalen Illusionsbildern, zwischen und in denen man verzweigen und "wandern" kann, das heißt, die nicht nur eine optische sondern auch eine funktionale "Tiefe" haben; in einer zweiten Stufe haben wir denselben Prozeß mit fotografischen Bildern einer wirklichen Werkstatt dargestellt. Ob die Verwendung dreidimensionaler Darstellungen überhaupt Vorteile bringt oder als Rückschritt angesichts der inzwischen erreichten Ästhetik der Visualisierung von Benutzungsoberflächen zu werten ist, bleibt eine offene Frage.

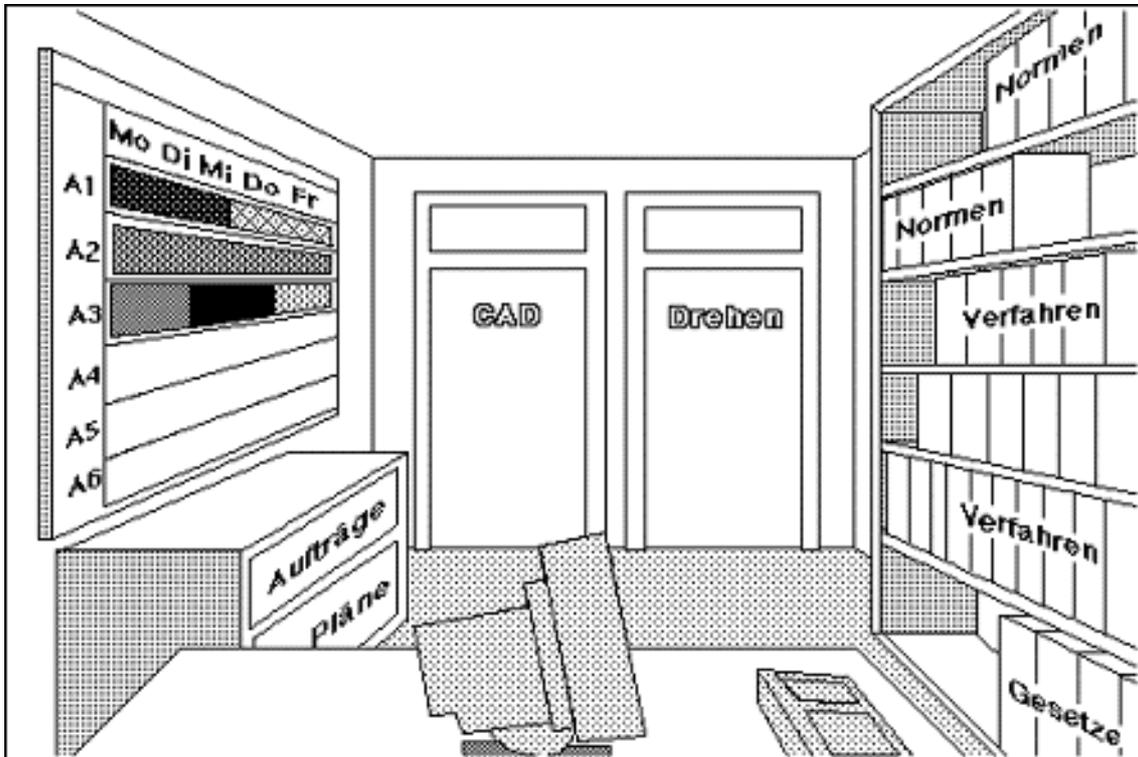


Abb. 4 - 13: Darstellung eines Planungsbüros, von dem aus man in ein Konstruktionsbüro und in die Drehwerkstatt verzweigen kann

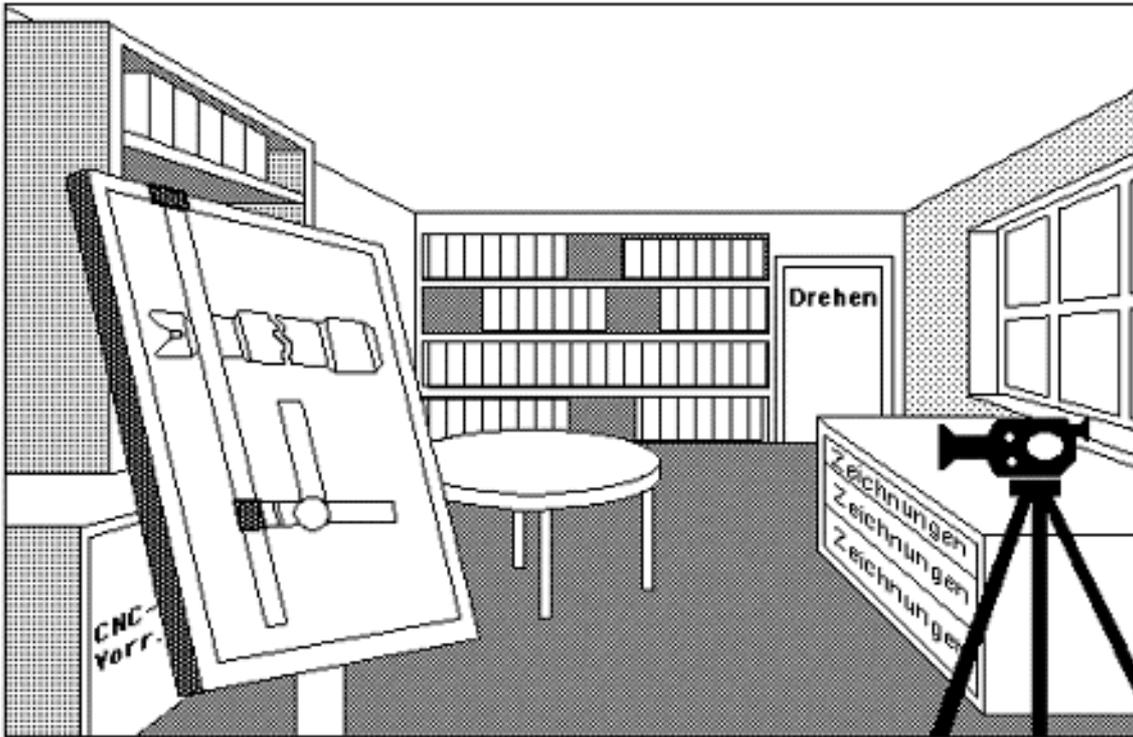


Abb. 4 - 14: Darstellung des Konstruktionsbüros

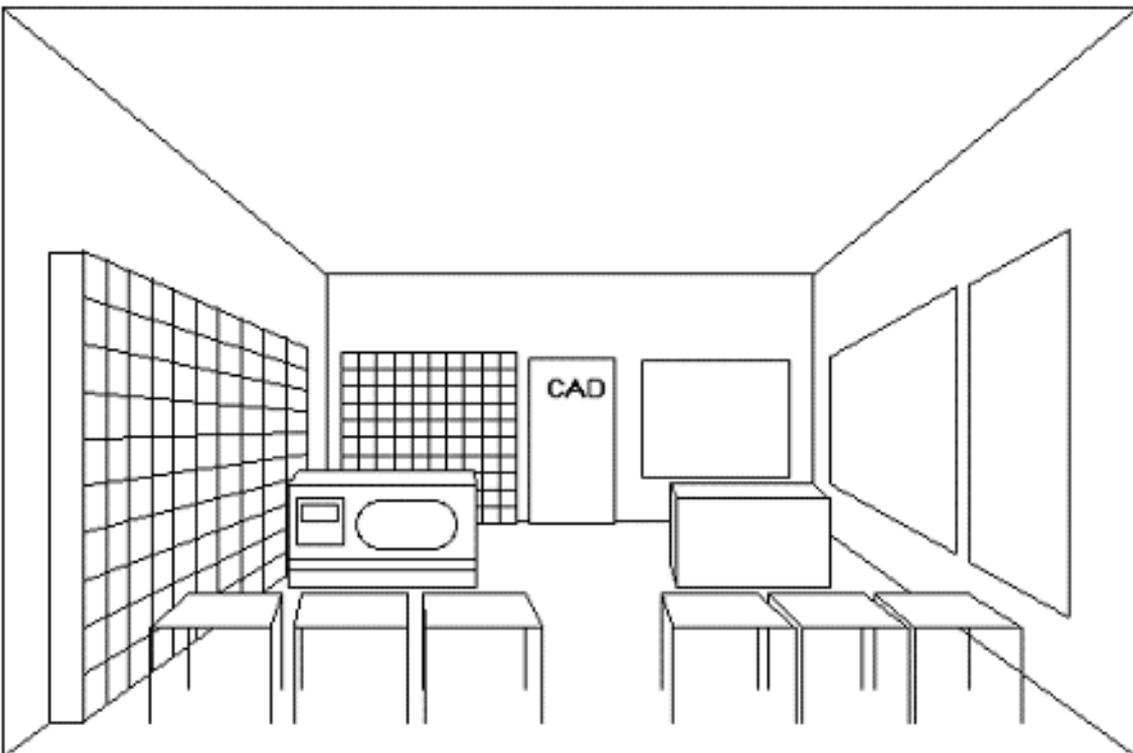
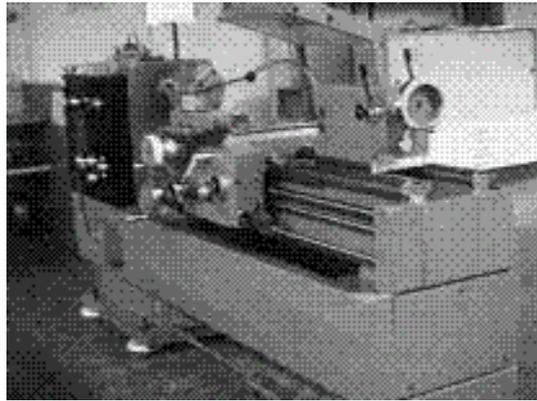


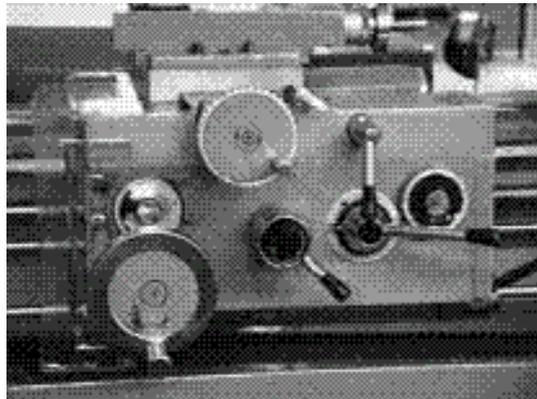
Abb. 4 - 15: Darstellung der Drehwerkstatt

Die folgende Bilderserie zeigt den Annäherungsprozeß an eine Drehmaschine, den Blick auf einzelne ihrer Elemente und den Drehvorgang mit fotografischen Mitteln dargestellt. Man muß sich diese Sequenz als illusionistische Benutzungsoberfläche vorstellen, auf der die ikonografischen Objekte mit Funktionen hinterlegt sind.

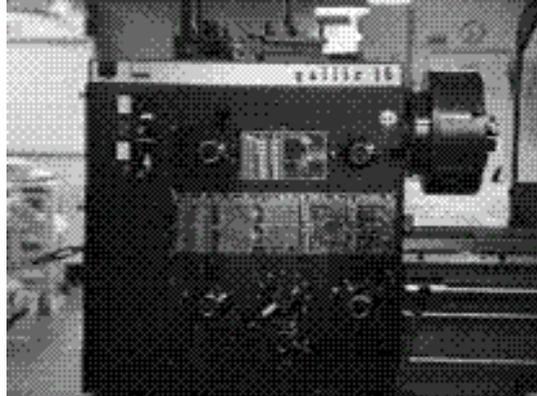
Die Drehmaschine als Totale



Werkzeugschlitten



Spindelstock und Futter



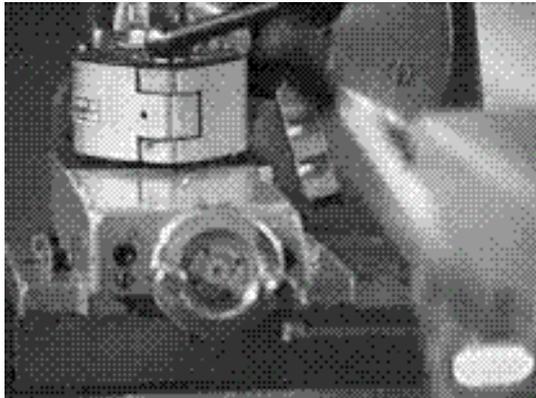
Futter und Werkstück



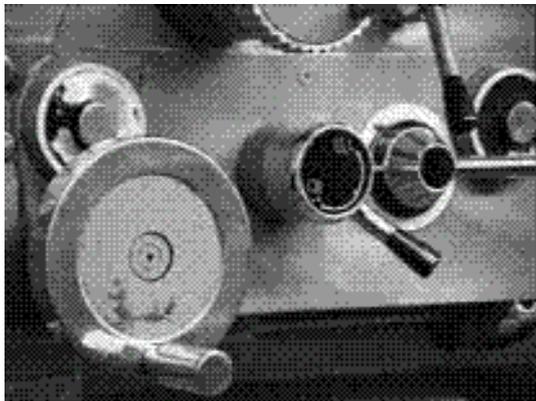
Einspannen des Werkzeugs



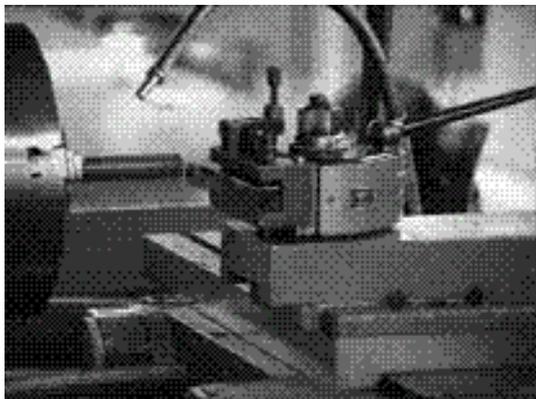
Schnellwechselhalter



Teile des Werkzeugschlittens



Der Drehprozeß



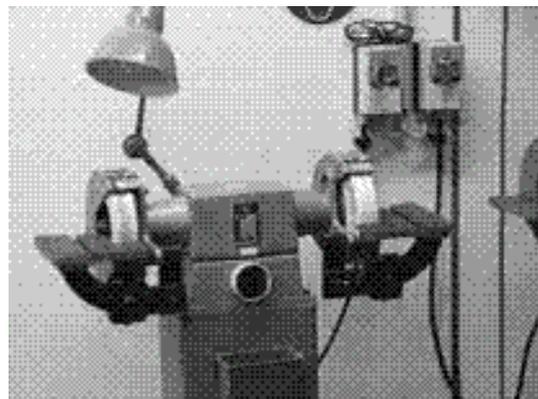
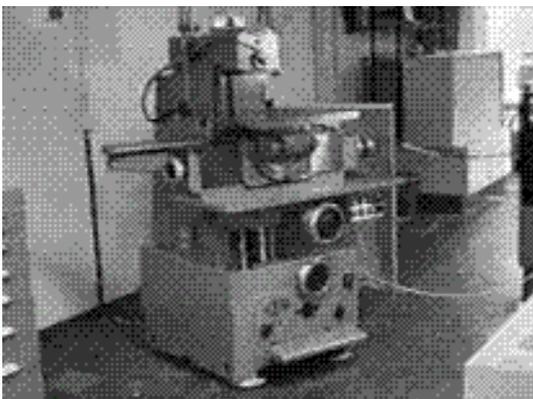
Weitere Untersuchungen wurden mit den Mitteln der Animation gemacht, um Prozesse zu visualisieren. Die folgenden vier Bilder sind aus einer Animation herausgegriffen, die einen Portalroboter beim Aufheben, Transportieren und Absetzen eines kleinen Objektes zeigen. Im Rahmen dreidimensionaler Darstellungselemente sollen Animations- und Video-/Filmsequenzen Bestandteile von werkstatorientierten Benutzungsoberflächen werden.

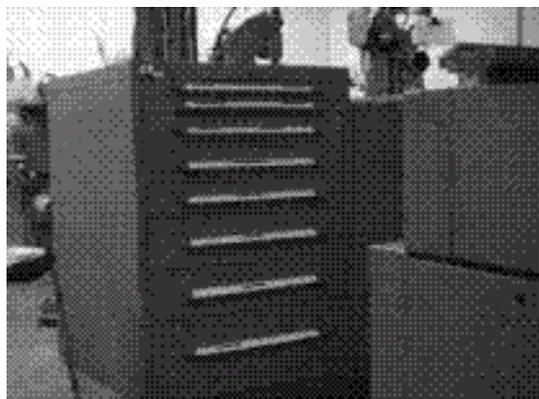
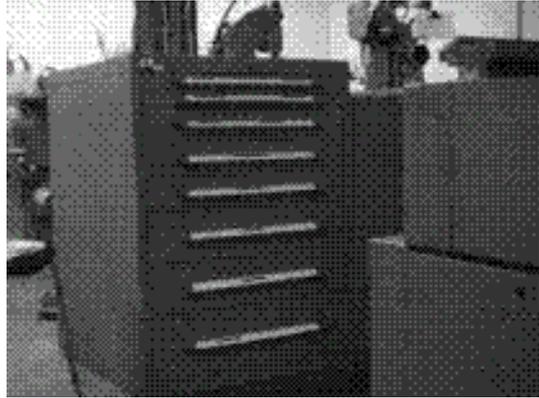
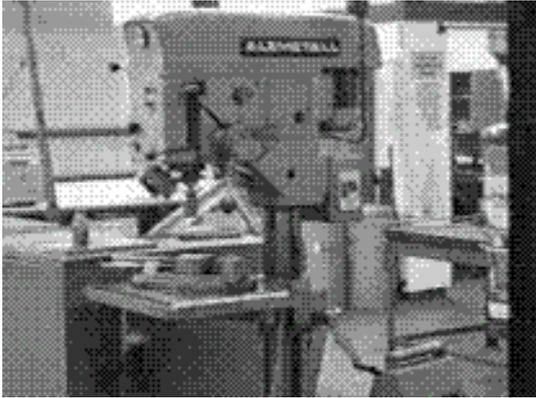


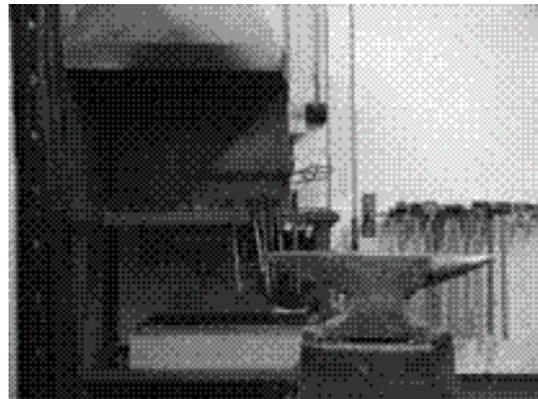
Untersuchungen zur Orientierung und Interaktion

Um zu untersuchen, wie man sich in einer fotografisch dargestellten Welt orientieren kann, haben wir eine Sequenz von Videobildern in der Werkstatt aufgenommen, die als Schlüsselbilder innerhalb einer kontinuierlichen Kamerabewegung zu betrachten sind (die wir nicht gemacht haben, um nicht in der Flut von Material zu versinken). Durch sinnvoll eingesetzte Übergänge, sogenannte Fader-Effekte, in einem Animationsprogramm kann der Eindruck von Bewegung simuliert werden. Die Schwierigkeit, welche dabei auftritt und jetzt bereits abzusehen ist, ist die, Panorama-Perspektiven und "Tiefen-Perspektiven", Totalen mit Nahaufnahmen miteinander zu verbinden und auf beiden Ebenen Selektions- und Funktionsmechanismen zuzulassen.

Anzustreben wäre bei dieser Darstellungsform die Herstellung eines kontinuierlichen Panoramabildes der Werkstatt mit einem Winkel von 360°, das in Einzelbilder zerlegt und mit einem entsprechenden richtungsorientierten Interface-Device das Orientieren und Verzweigen im dargestellten Raum-Bild ermöglicht. Unsere explorative Studie anhand von Schlüsselbildern ist ein erster Schritt in diese Richtung.







LITERATUR

- [Alexander 1964] Chr. Alexander: Notes on the Synthesis of Form. Harvard University Press, Cambridge 1964
- [Apple Human Interface Guidelines 1987] Apple Human Interface Guidelines 1987. The Apple Desktop Interface. Addison-Wesley, New York 1987
- [Aukstakalnis & Blatner 1992] S. Aukstakalnis, D. Blatner: The Art and Science of Virtual Reality. Silicon Mirage. Peachpit Press, Berkeley 1992
- [Bahr 1983] H. D. Bahr: Über den Umgang mit Maschinen. Konkursbuchverlag, Tübingen 1983
- [Baruzzi 1973] A. Baruzzi: Mensch und Maschine. Das Denken sub specie machinae. W. Fink Verlag, München 1973
- [Bion 1990] W. R. Bion: Lernen durch Erfahrung. Suhrkamp, Frankfurt am Main 1990
- [Blinn 1987], J. Blinn: The Mechanical Universe. Jet Propulsion Laboratory. SIGGRAPH Video Review Issue 25. ACM SIGGRAPH Publication "Computer Graphics" 1987
- [Böhle & Milkau 1988] F. Böhle, B. Milkau: Vom Handrad zum Bildschirm. ISF München, Campus Verlag 1988
- [Böhle & Rose 1992] F. Böhle, H. Rose: Technik und Erfahrung. Arbeit in hochautomatisierten Systemen. ISF München, Campus Verlag 1992
- [Bolte & Martin 1992] A. Bolte, H. Martin: Prozeßbeherrschung durch Erfahrungswissen und deren technische Unterstützung - ein neues Forschungsfeld. In: Institut für Arbeitswissenschaft der Gesamthochschule Kassel (Hrsg.): Erfahrungsgeleitete Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen und deren technische Unterstützung. Kassel 1992
- [Booch 1991] G. Booch: Object oriented design with applications. Redwood, Cal. 1991
- [Braun et al. 1988] C. Braun et al.: Metall Technologie Grundkenntnisse, Handwerk und Technik, Hamburg 1988
- [Brown 1986] J. S. Brown: From Cognitive to Social Ergonomics and Beyond. In: D. A. Norman, S. W. Draper (Hrsg.), User Centered System Design. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale 1986
- [Bruns 1990] F. W. Bruns: Die Simulation als Qualifikationsmittel; In: 3. Sachbericht - Modellversuch "Roboter als CIM-Komponenten in der beruflichen Bildung", Bremen 1990, S.157 ff.

- [Bruns et al. 1992] F. W. Bruns, L. Busekros, A. Heimbucher: Simulation Containerbrücke und Transtainerlager für die Bremer Lagerhausgesellschaft, artec, Universität Bremen 1992
- [Bruns 1993] W. Bruns: Über die Rückgewinnung von Sinnlichkeit. Universität Bremen, artec-Arbeitspapier 19, 1993
- [Bruns & Müller 1993] W. Bruns, D. Müller: Hypermedia als Simulationswerkzeug. Universität Bremen, artec-Arbeitspapier 17, 1993
- [Budde & Züllighoven 1990] R. Budde, H. Züllighoven: Software-Werkzeuge in einer Programmierwerkstatt. Ansätze eines hermeneutisch fundierten Werkzeug- und Maschinenbegriffs. München, Wien 1990.
- [Bürdek 1992] B. E. Bürdek: Design. Geschichte, Theorie und Praxis der Produktgestaltung. DuMont Buchverlag, Köln 1992
- [Carrol & Thomas 1982] J. M. Carrol, J. C. Thomas: Metaphor and the Cognitive Representation of Computing Systems. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Vol. SMC-12, No2 1982, S. 107-115
- [Carrol et al. 1980] J. M. Carrol, J. C. Thomas, A. Malhotra, A.: Presentation and representation in design problem-solving. British J. of Psych. Vol 71 1980, S 143-153
- [Cézanne 1957] Paul Cézanne: Über die Kunst. Gespräche mit Gasquet und Briefe. Rowohlt Verlag, Hamburg 1957
- [Chang 1990] T. C. Chang: Expert Process Planning for Manufacturing. Addison-Wesley, New York 1990
- [Cords & Müller 1992] D. Cords, W. Müller: Betriebliche CAD-Systemanpassung als Aufgabe für Konstruktionsmitarbeiter/-innen. artec-paper Nr. 14 Dez. 1991
- [Coy 1992] W. Coy, W. (1992): Für eine Theorie der Informatik! In: W. Coy et al. (Hrsg.): Sichtweisen der Informatik. Vieweg Verlag, Braun-schweig/Wiesbaden 1992, S. 17-32
- [Diehl 1988] R. Diehl: Der sanfte Crash. Kollisionsprüfung in einem Volumenmodellierer. In: CAE-Journal 4/1988.
- [Dittes 1989] A. Dittes: DemNeXt wird alles anders. Steve Jobs' Würfel in der Praxis. In: c't 9/1989.
- [Ehn, 1988] P. Ehn: Work-Oriented Design of Computer Artifacts. Arbetslivscentrum, Stockholm 1988
- [Einstein 1930] A. Einstein: Rede zur Eröffnung der Funkausstellung. Berlin 1930

- [Feyerabend 1992] P. K. Feyerabend: Über Erkenntnis. Zwei Dialoge. Campus, Frankfurt 1992
- [Floyd 1989] Chr. Floyd: Softwareentwicklung als Realitätskonstruktion. In: W.-M. Lippe (Hrsg.): Software-Entwicklung. Konzepte, Erfahrungen, Perspektiven. Berlin, Heidelberg, New York 1989, S. 1-20.
- [Foley et al. 1990] J. D. Foley, A. Van Dam, S. K. Feiner, J. F. Hughes: Computer Graphics. Principles and Practice. Addison-Wesley, New York 1990
- [Gerds 1988] P. Gerds: Technikverständnis und Gestaltungsfähigkeit. Dissertation, Bremen 1988
- [Goldberg & Robson 1989] A. Goldberg, D. Robson: Smalltalk-80: The Language. Reading, MA. 1989
- [Goldberg 1984] A. Goldberg,: Smalltalk-80: The Interactive Programming Environment. Reading, MA. 1984
- [Grobel, Kilger, Rude 1992] T. Grobel, C. Kilger, S. Rude: Objektorientierte Modellierung der Produktionsorganisation. In: W. Görke, H. Rininsland, M. Syrbe (Hrsg.): Information als Produktionsfaktor. 22. Gi Jahrestagung. Springer, Berlin 1992, S. 409 ff.
- [Hampe-Neteler & Rödiger 1992] W. Hampe-Neteler, K.-H. Rödiger: Verfahren der Evaluierung und Standards zur Entwicklung von Benutzungsoberflächen. Informatik Bericht Nr. 2. Universität Bremen 1992
- [Hatley & Pirbhai 1988] D. J. Hatley, I. A. Pirbhai: Strategies for Real-Time System Specification. Dorset House Publ. Co., New York 1988
- [Heimbucher 1992] A. Heimbucher: Anforderungen an die Visualisierung von Simulationen. In: B. Willim (Hrsg): Designer im Bereich Animation und Cyberspace, DREI-R-VERLAG, Berlin 1992, S. 133-142
- [Hellige 1991] H. D. Hellige: Leitbilder und historisch-gesellschaftlicher Kontext der frühen wissenschaftlichen Konstruktionsmethodik. artec-Paper Nr. 8, 1991
- [Heidenreich et al. 1980] L. H. Heydenreich, B. Dibner, L. Reti: Leonardo der Erfinder. Belser Verlag, Stuttgart und Zürich 1980
- [Hirsch-Kreinsen & Wild 1992] H. Hirsch-Kreinsen , R. Schultz-Wild: Chances for Skilled Production Work in Computerized Manufacturing Systems. In: Brödner & Karwowski (Hrsg.). Ergonomics of Hybrid Automated Systems III. Elsevier, Amsterdam 1992
- [Horkheimer 1992] M. Horkheimer: Traditionelle und kritische Theorie. In: Traditionelle und kritische Theorie - Fünf Aufsätze. Frankfurt/M., S. Fischer 1992, S. 205-269

- [Iwata 1990] H. Iwata: Artificial Reality with Force-feedback: Development of Desktop Virtual Space with Compact Master Manipulator. Computer Graphics, Vol. 24, No 4 1990, S. 165-170
- [Jerchel 1992] P. Jerchel: Virtuality now!, Rechnerinterface für den Nintendo PowerGlove, Teil 2-4. In: c't 10-12/1992, S. 250-255, 274-280, 278-282
- [Kandinsky 1963] W. Kandinsky: Essays über Kunst und Künstler. Benteli-Verlag, Bern 1963
- [Kay 1985] A. Kay: Software. In: Spektrum der Wissenschaft. Sonderheft Computersoftware, 1985 S. 6-15
- [Koller 1985] R. Koller: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Berlin, Springer 1985
- [Kormanicki 1980] J. Komarnicki: Simulationstechnik. Düsseldorf 1980
- [Kraus 1992] M. Kraus: Virtuality now!, Rechnerinterface für den Nintendo PowerGlove, Teil 1. In: c't 9/1992, S. 158, 162
- [Læssøe & Rasmussen 1989] J. Læssøe, L. B. Rasmussen: Human-Centered Methods. Development of Computer-Aided Work Processes within the Field of Industrial Design. Institut for Samfundsfag, Danmarks Tekniske Højskole 1989
- [Læssøe et al. 1989] J. Læssøe, L. B. Rasmussen, P. Tøttrup: The Electronic Sketch Pad. Esprit-project 1217(1199), Reproset, Copenhagen 1989
- [Lohmann 1953] H. Lohmann,: Die Technik und ihre Lehre. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Dresden, 3, Heft 4 1953
- [Meyer 1990] B. Meyer: Objektorientierte Softwareentwicklung. München 1990
- [Minsky et al. 1990] M. Minsky, M. Ouh-young, O. Steele, F. P. Brooks, M. Behrensky, M. (1990): Feeling and Seeing: Issues in Force Display. Computer Graphics, Vol. 24, No 2 1990, S. 235-243
- [Müller 1987] D. Müller: "CNCSim" - Grafisch - interaktiver CNC - Simulator. Bremen 1987
- [Müller 1990] D. Müller: Karel der Roboter. Eine interaktive Programmier- und Simulationsumgebung. Bremen 1990
- [Müller 1993] D. Müller: Application Frameworks für die Entwicklung interaktiver Anwendungen mit multisensorischen Benutzungsschnittstellen. Ansätze einer prototypischen Realisierung von Rechnersystemen für die Produktion. artec-Arbeitspapier 22, April 1993
- [Mumford 1964] L. Mumford: Mythos der Maschine. Fischer, Frankfurt am Main 1986

- [Negroponte 1991] N. Negroponte: Beyond a Desktop Metaphor. In: A. R. Meyer et al. (Eds.): Research Directions in Computer Science: An MIT Perspective. The MIT Press, Cambridge 1991
- [Nygaard & Dahl 1981] K. Nygaard, O.-J. Dahl: The Development of the Simula Languages. In: Wexelbat, R. (Ed.): History of Programming Languages. New York Academic Press 1981
- [Pahl & Beitz 1984] G. Pahl, W. Beitz: Konstruktionslehre. Springer, Berlin 1984
- [Rodenacker 1984] W. G. Rodenacker: Methodisches Konstruieren. Konstruktionsbücher, 27. Berlin, Springer 1984
- [Roth 1982] K. Roth: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Berlin, Springer 1982
- [Rubine 1991] D. Rubine: Specifying Gestures by Example. Computer Graphics, Vol. 25, No 4 1991, S. 329-337
- [Ruf 1991] Th. Ruf: Featurebasierte Integration von CAD/CAM-Systemen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1991
- [Schneider 1990] J. Schneider: Stand und Entwicklungstrends von Expertensystemen für Entwicklung und Konstruktion. VDI Berichte Nr. 775
- [Schönthaler & Németh 1990] F. Schönthaler, T. Németh: Software-Entwicklungswerkzeuge: Methodische Grundlagen, Teubner, Stuttgart 1990
- [Seiler 1985] W. Seiler: Technische Modellierungs- und Kommunikationsverfahren für das Konzipieren und Gestalten auf der Basis der Modell-Integration. Fortschritt-Berichte. VDI, Reihe 10: Angewandte Informatik. VDI-Verlag, Düsseldorf 1985
- [Simon 1981] H. A. Simon: The Sciences of the Artificial. MIT Press, Cambridge 1981
- [Sutter 1988] A. Sutter: Göttliche Maschinen. Athenäum Verlag, Frankfurt am Main 1988
- [Tauber & Schuster 1988] A. Tauber, G. Schuster : Robotersimulation - eine CIM-Komponente. Bindeglied zwischen Gestern und Morgen. In: CAE-Journal 4/1988
- [Ulich 1991] E. Ulich: Arbeitspsychologie. Verlag der Fachvereine an den schweizerischen Hochschulen und Techniken (vdf), Zürich und C. E. Poeschel Verlag, Stuttgart 1991
- [VDI 1989] VDI: Handlungsempfehlung: Sozialverträgliche Gestaltung von Automatisierungsvorhaben. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1989
- [Ward & Mellor 1986] P. T. Ward, S. J. Mellor: Structured Development for Real-Time Systems, Vol. 3, Yourdon Press, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ 1986
- [Weizenbaum 1976] J. Weizenbaum: Computer Power and Human Reason. W. H. Freeman Co, San Francisco 1976

[Wingert & Riehm 1985] B. Wingert, U. Riehm: Computer als Werkzeug. In: W. Rammert et al. (Hrsg.): Technik und Gesellschaft, Campus Verlag, Frankfurt/M. 1985, S. 107-131,

[Winograd & Flores 1989] T. Winograd, F. Flores: Erkenntnis Maschinen Verstehen. Zur Neugestaltung von Computersystemen. Rotbuch Verlag, Berlin 1989