

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik

o. Prof. Dr.-Ing. Günter Spur

Studienarbeit:

UNTERSUCHUNGEN ZUR ERGONOMISCHEN GESTALTUNG

EINER SCHNITTSTELLE FÜR DIE EINGABE HAND-

SKIZZIERTER KONTUREN

von: Hans Boes
Matr.Nr. 65888
Wirtschaftsingenieurwesen

Betreuende Assistenten:

Dipl.Ing. H.Jansen
Dipl.Ing. M.Timmermann

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung	1
1.1. Informationsverarbeitung als Grundlage des wirtschaftlichen Produktionsprozesses	1
1.2. CAD-Systeme als Arbeitsmittel der Zukunft	3
2. Arbeitswissenschaftliche Anforderungen an einen computerunterstützten Konstruktions-Arbeitsplatz	7
2.1. Einführung	7
2.2. Der konventionelle Büroarbeitsplatz	8
2.3. Neue Technologien im Bürobereich	9
2.4. Gestaltungsregeln für Bildschirmarbeitsplätze	11
2.4.1. Begriffsbestimmung	11
2.4.2. Erkenntnisse für die Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen	11
2.4.3. Die Arbeitsumgebung	12
2.4.4. Der Arbeitsplatz	13
2.4.5. Das Bildschirmgerät	13
2.4.6. Wahrnehmbarkeit der Zeichen	13
2.4.7. Weitere Arbeitsmittel	14
2.4.8. Allgemeine Aspekte	14
2.5. Gestaltungsregeln für CAD-Arbeitsplätze	15
3. Analyse der Schnittstelle des rechnerunterstützten Konstruierens	18
3.1. Probleme einer ergonomisch optimalen CAD-Arbeitsplatzgestaltung	18
3.2. Grundlagen der Ergonomie	19
3.2.1. Einleitung	19
3.2.2. Der Systembegriff	19
3.2.3. Das Arbeitssystem	21
3.2.4. Die Arbeitsperson	22
3.2.5. Rezeptoren und Sinnessystem	23
3.2.6. Der Gesichtssinn	26
3.2.7. Die Gesichtswahrnehmungen	28
3.2.8. Der Gehörsinn und die weiteren Sinne	31
3.2.9. Wahrnehmung und Efferenz	32
3.2.10. Kompatibilität von Anzeige und Bedienelement	35
3.2.11. Das Seelische	37
3.3. Der Konstruktionsprozess	39
3.3.1. Einführung	39

3.3.2. Konstruktionsmethodik	40
3.3.3. Konstruktionsphasen	41
3.3.4. Tätigkeitsanalyse des Konstrukteurs	43
3.3.5. Arbeitsweise des Konstrukteurs	45
4. Entwicklung eines Konzeptes	50
4.1. Das Ideal-Konzept	50
4.2. Das theoretische Idealsystem	51
4.3. Das äußerste Idealsystem	52
4.3.1. Das äußerste Idealsystem als Leitlinie	52
4.3.2. Analyse des theoretischen Idealsystems	53
4.3.3. Ansätze zur Entwicklung einer Darstellungsform	54
4.3.4. Ansätze zur Entwicklung einer Eingabeform	58
4.3.5. Auswahl eines äußersten Idealsystems	64
4.4. Ein technologisch durchführbares Lösungskonzept	66
5. Marktanalyse	68
6. Literaturverzeichnis	

1. Einführung

1.1 Informationsverarbeitung als Grundlage des wirtschaftlichen Produktionsprozesses

Kennzeichnend für die Produktion - als Kombinationsprozeß der produktiven Faktoren Arbeit, Stoffe und Betriebsmittel - ist eine "Veredelung" der Erzeugnisse auf jeder Stufe, die sie auf dem Wege vom Urprodukt zum Endprodukt durchlaufen. "Veredelung" ist hier gleichbedeutend mit einer Entropieminderung im Boltzmann'schen Sinne, einer Entwicklung zum Unwahrscheinlicheren, einer Höherentwicklung. Da die philosophisch-naturwissenschaftlichen Aspekte der Selbstorganisation der Materie [Prigogine 1977] noch keinen Eingang in die Betriebswirtschaftslehre gefunden haben, wird dort die Höherentwicklung durch Einführung eines dispositiven Produktionsfaktors, der Geschäfts- und Betriebsführung erklärt [Gutenberg 1983, S.2ff]. Der dispositive Faktor hat die Aufgabe, die elementaren Produktionsfaktoren - Arbeit, Betriebsmittel und Werkstoffe - durch eine methodische Überwachung des Transformationsprozesses, in einer die betriebliche Zielsetzung gewährleistenden Weise, zu kombinieren. Die Zielsetzung ergibt sich dabei aus dem Bemühen um "rationale Durchdringung der Umwelt zum Zwecke der Befriedigung von Bedürfnissen" [Grochla 1972, S.13]. Die Aufgaben des dispositiven Faktors können weiter unterteilt werden. Dabei ist die oberste Aufgabe des dispositiven Faktors, in einer Zielentscheidung die Zielfunktion zu formulieren [Wöhe 1984, S.87ff]. Alle anderen Entscheidungen beziehen sich dann auf die Wahl der Mittel. Somit ergibt sich eine Kette von Aufgaben, die in einem Kreismodell dargestellt werden können [Schubert 1972].

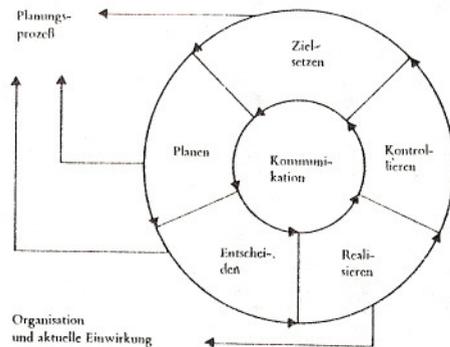


Abb 1.1 Der Management-Kreis [Wöhe 1984, S.89]

In der Darstellung ist schon angedeutet, daß die Voraussetzung für die Ausübung des Managements der Austausch von Informationen ist. Die Kommunikation wird zum entscheidenden Faktor für den Transformationsprozeß der Produktion. Die Informationskanäle werden zum Unterscheidungsmerkmal für die verschiedenen Organisationsstrukturen. "Die Verwaltungskräfte i.w.S. widmen praktisch ihre gesamte Zeit dem Informationsaustausch." [Blohm 1977, S.109]

Dabei wird der Informationsbedarf in den unteren Ebenen der Hierarchie immer spezieller, in den oberen Ebenen umfassender. Denn Entscheidungsprobleme sind vorwiegend Informationsprobleme wie auch die Entwicklung der Decision-Support-Systems zeigt. "Von der Tatsache ausgehend, daß die Tätigkeit von Führungskräften in einem Betrieb fast ausschließlich - die Tätigkeit der übrigen Mitarbeiter mindestens teilweise - in einem Austausch von Informationen besteht, darf man annehmen, daß hier ein weiteres Feld möglicher Verbesserungen des Wirkungsgrades qualifizierter menschlicher Arbeit ist." [Blohm 1974, S.86]

Meine Ausführungen sollten zeigen, daß die Schlüsselstellung der Informationsverarbeitung für den wirtschaftlichen Verwertungsprozeß schon von der klassischen Betriebswirtschaftslehre erkannt wurde. Im Rahmen dieser Studienarbeit möchte ich jedoch noch einen anderen Aspekt der Informationsverarbeitung im wirtschaftlichen Prozeß erwähnen.

Bei genauerer Betrachtung des Transformationsprozesses stellt man fest, daß der Mensch nicht in der Lage ist, neue Materie oder Energie zu erschaffen oder zu vernichten. Dies folgt aus dem Ersten Hauptsatz der Thermodynamik. Der Wirtschaftsprozess ist vielmehr eine Umstrukturierung von Energie und Materie gemäß dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Dieser Zweite Hauptsatz wurde geprägt von dem französischen Ingenieur Carnot, in einer Abhandlung über die Ökonomik von Wärmekraftmaschinen. Er besagt, daß die Entropie, als Maß der nicht verfügbaren Energie in einem thermodynamischen System, ständig steigt. Dies ist nichts anderes, als die Erfahrung der Nicht - Umkehrbarkeit der Zeit, oder der Irreversibilität der Vorgänge [Wehr 1974; Weizsäcker 1948]. Der Wirtschaftsprozess schafft, wie alle Lebensprozesse, beständig neue Ordnung, ohne dabei den Zweiten Hauptsatz zu verletzen, denn bei der Produktion entstehen Abfälle, die die Unordnung des Gesamtsystems und damit dessen Entropie, anwachsen lassen. Zu diesem Problemkreis [Georgescu-Roegen 1971]. Der Kombinationsprozeß der Produktion kann somit als Transformationsprozeß von Ordnung angesehen werden. Es werden Ausgangsmaterialien (Rohstoffe) niedriger Ordnung in Endprodukte (Sachgüter u. Dienstleistungen) hoher Ordnung transformiert. Schließlich ist also der wirtschaftliche Produktionsprozeß nichts anderes als ein Informationsverarbeitungsprozeß, der beständig neue Ordnung und damit überlebensrelevante Information (Relevanz) für den Betrieb schafft. Zu den Problemen der

Gleichsetzung von negativer Entropie (Relevanz) und Information siehe [Weizsäcker 1974a]. Meine Darstellung ist insofern etwas vereinfacht, kann aber hier nicht weiter ausgeführt werden. Zum Begriff der Transformation siehe: [Ashby 1974, S.27ff.].

Analog zur Ökonomik der Wärmekraftmaschinen des S.Carnot, arbeitet der Betrieb am wirtschaftlichsten, der bei diesem Transformationsprozeß den niedrigsten Anstieg der Entropie verursacht. (minimale Kosten), oder die größtmögliche Relevanz (maximale Leistung) erbringt (Ergebnis = Leistungen - Kosten). Dies führt uns wieder zurück zu dem Management-Kreis der Abb. 1.1, der jetzt als Lernkreis aufgefaßt werden kann. Blohm hat daher auch das Idealmodell der Organisation als System vermaschter Regelkreise dargestellt [Blohm 1977, S.30ff.].

1.2 CAD - Systeme als Arbeitsmittel der Zukunft

Für die Einwirkung auf die Gegenstände seiner Umwelt stehen dem Menschen nur begrenzte Möglichkeiten zur Verfügung. Er benutzt daher selbstgeschaffene Produkte, die seine Wirkungsmöglichkeiten quantitativ und auch qualitativ erweitern. Diese Hilfsmittel nennen wir Werkzeuge. Mit den Werkzeugen als technischen Hilfsmitteln ist es dem Menschen gelungen eine Vielzahl von Produkten zu schaffen, darunter auch die Werkzeugmaschine als Grundlage der industriellen Revolution. Mit der Einführung der EDV in die Fertigung und Konstruktion entstehen erste Ansätze zu Programmsystemen der Konstruktions- und Arbeitsplanung. Der Begriff CAD (Computer-Aided-Design) entstand am MIT während der Arbeiten an dem NC-Programmsystem APT. Eine ausführliche Darstellung der Entwicklung der CAD-Technik findet sich im [Spur, Krause 1984].

Mit der Entwicklung der CAD-Systeme wird eine neue Stufe der Werkzeugentwicklung erreicht. Der Mensch wirkt nicht mehr direkt auf den Arbeitsgegenstand ein. Der Dialog mit dem Rechner tritt an die Stelle der direkten Einwirkung. Es wird der informationelle Prozeß in den Vordergrund gerückt und von der mechanischen Wirkung getrennt. Die direkte mechanische Einwirkung erfolgt erst zu einem späteren Zeitpunkt und kann als vollautomatischer Prozeß ablaufen (Fabrik der Zukunft). Damit wird der Prozeß der Trennung von informationeller und mechanischer Einwirkung, der im Verlaufe der geschichtlichen Entwicklung der Produktionstechnik zu beobachten ist, vielleicht zu einer Vollendung geführt. Der Dialog mit dem Rechner wird zu der entscheidenden Schnittstelle für das schöpferische Gestalten der Umwelt des Menschen und damit seiner Einwirkung auf seinen Lebensraum. Insofern ist es erstaunlich, daß die Schnittstelle Mensch-Computer immer noch als Engpassbereich bezeichnet werden kann, obwohl in den letzten Jahren einige Anstrengungen unternommen wurden, hier Verbesserungen zu erreichen. Hierzu ausführlich: [Jansen,

Nullmeier, Roedinger 1985]. Dazu Spur und Krause: "Die erforderliche Abstimmung der Eingabe durch den Menschen auf die Ausgabe des Rechners bereitet besondere Schwierigkeiten. Die Lösung dieses Problems ist ein Gütekriterium für die graphische Kommunikationsschnittstelle." [Spur, Krause 1984, S.142]

Dies ist besonders wichtig, wenn man den Konstruktionsprozeß als schöpferischen Lernprozeß begreift, der in Analogie zum kybernetischen Regelungsprozeß als Kreisprozeß darstellbar ist: "Entscheidend ist, daß im Zuge einer Optimierung der Konstruktionsprozeß nicht statisch, sondern dynamisch als Regelungsprozeß aufgefaßt wird, bei dem der Informationsrückfluß solange eine Rückschleife durchlaufen muß, bis der Informationsgehalt die zur optimalen Lösung erforderliche Höhe erreicht hat" [Pahl, Beitz 1986, S. 14].

Hier wird das Verständnis des Konstruktionsprozesses als iterativem Lernprozeß deutlich, der eine interaktive dialogorientierte Arbeitsweise mit dem Rechner voraussetzt. Gerade für dieses interaktive Vorgehen bedarf es einer abgestimmten Kommunikation mit dem Rechner, bei der die Ebene der Eingabe und der Ausgabe der natürlichen Arbeitsweise des Konstrukteurs angepaßt sind. Nur so wird die Mensch-Maschine-Kommunikation zu einem schöpferischen Lernprozeß führen, der nicht ständig von den Problemen der Interaktion unterbrochen wird. "Der Benutzer will zeichnen und konstruieren, nicht mit Kommandos ein System oder einen Bildschirm bedienen" [Encarnacao 1983, S.73].

Es soll Aufgabe dieser Arbeit sein, einen Lösungsweg für eine solche Kreativitätsfördernde Schnittstelle zu finden. Denn die Kreativität ist ein wesentlicher Engpaß des Fortschritts [Spur 1984]. Dabei bieten die CAD - Systeme schon heute eine breite Palette der Unterstützung für den Konstrukteur, die den Rechnereinsatz in den Arbeitsprozeß des Konstruierens integrieren. Zu nennen wären hier vor allem die Informationsbereitstellung über Normteile, Halbzeuge und andere Standardbauteile, sowie Kostendaten, aber auch standardisierte Merkmal- und Checklisten der Konstruktionsmethodik. Weiterhin Berechnungsprogramme zum Nachrechnen, zur Auslegung und Optimierung der Bauteile, und damit verbunden die Gestaltvariation [Heinrichs, Helpstein, Melder 1984]. Auch die Konzeptphase kann durch systematische Sammlungen von physikalischen Effekten und Lösungsprinzipien (morphologische Kästen) unterstützt werden [Pahl, Beitz 1986, S. 21ff.]. Man spricht dann von "Computer Aided Engineering" (CAE).

Gemeinsam ist all diesen Zukunftsaspekten des CAD die Verkürzung des Optimierungsprozesses, der als Lernprozeß dargestellt wurde. Einerseits wird die Lösungsfindung durch begleitende Informationsbereitstellung beschleunigt, andererseits wird einer möglichen Realisierung eine Modellanalyse vorgeschaltet. Gerade diese Modellanalyse durch Berechnungs- und Simulationsprogramme ermöglicht eine Fehleranalyse des Lösungsvorschlags bereits im Rechner. Hier mußten früher in aufwendiger und kostenintensiver Arbeit Prototypen hergestellt wer-

als Probemontage und sollte von einem anderen Konstrukteur vorgenommen werden. Die Skizzen können dann auch in der Fertigung verwendet werden.

Die Übertragung dieses Verfahrens auf den CAD-Einsatz ist sicherlich möglich. Rechnerinterne Volumenmodelle könnten aufgrund der Bemaßungsangaben und mehrerer Ansichten erzeugt werden. Fehlende Angaben muß der Rechner selbst erkennen und anfordern. Für eine solche Vorgehensweise wäre sicherlich die Verwendung der vorherbeschriebenen Kombination von Anzeige und Bedienelement in einem Display-Tablett nützlich. Eine Kombination mit den vorher beschriebenen Vorgehensweisen der graphischen Interaktion scheint sinnvoll.

Ein völlig anderes Problem bezüglich der zweidimensionalen Eingabe ist die Wahl der Vorgehensweise für die graphische Interaktion. Die Verfahren der Projektion dreidimensionaler Objekte auf eine zweidimensionale Darstellungsfläche wurden bereits vorher eingehend erläutert. Das Verfahren der orthogonalen Parallelprojektion kommt dabei der üblichen rißorientierten Handhabung dreidimensionaler Objekte durch den Konstrukteur entgegen. Eine derartige Eingabeform wird durch das System CASUS für die CAD-Eingabe mittels Handskizzentchnik verfügbar gemacht [Jansen, Meyer 1984; Jansen, Timmermann 1987]. Aus drei im interaktiven Dialog eingegebenen Bauteilansichten wird ein dreidimensionales rechnerinternes Modell erstellt. Dieses rechnerinterne Modell kann nun auch interaktiv über die drei Ansichten manipuliert werden. Eine vollständige Beschreibung ist jedoch mit nur drei Ansichten nicht möglich. Deswegen muß dieses Verfahren noch um zusätzliche Eingabemöglichkeiten erweitert werden.

Dagegen setzt Reinauer eine rißorientierte Vorgehensweise, die nicht auf die drei Ansichten beschränkt ist. Die Konturen werden in einer Ansicht erzeugt und das Bauteil durch zusätzliche Angaben in weiteren Ansichten und Zusammenfassung derselben vollständig definiert. Das somit erzeugte dreidimensionale Modell ist Ausgangspunkt für weitere Berechnungen sowie Ansichten und Schnitte. Die Interaktion findet jedoch auch nur in den Rissen statt [Reinauer 1985, S.62ff.].

Ein Verfahren, daß auf der Verknüpfung dreidimensionaler Basisbausteine wie Quader, Pyramide, Kegel o.ä. beruht, ist aus der batchorientierten Eingabe mit Programmiersprachen entstanden. Die Verknüpfung geschieht durch die booleschen Operationen Addition, Subtraktion und Schnittmenge [Spur 1980, S.40ff; Reinauer 1985, S.63ff.]. Diese Vorgehensweise brachte für die sprachorientierte Bauteilbeschreibung eine sehr große Erleichterung im Eingabeaufwand. Für die graphische Interaktion ist die dadurch entstehende "Klötzchenwelt" keine sinnvolle Arbeitsgrundlage. Gleichwohl können bestimmte Anwendungen, wie die Simulation von Spanabhebenden Vorgängen (z.B. Bohren) gut in die ansonsten zweidimensional orientierte Arbeitsweise sein.

Das Gestalten nach den Skizzierverfahren, wie es von Richter beschrieben wird, bietet einen völlig anderen Ansatz [Richter 1987]. Bewußt benutzt er unmaßstäbliche Darstellungen (vgl. Abb. 4.1), um eine hohe Informationsdichte zu erhalten. Alle Informationen zu einem Bauteil werden auf einem DIN A4 Blatt zusammen dargestellt. Durch eine spezielle Arbeitsfolge des Gestaltens wird eine häufige Änderung der Bauskizzen vermieden. Die Gestalt der Darstellung ist beliebig. Sie reicht von abstrakten Prinzipskizzen über Rißdarstellungen bis zu dreidimensionalen Darstellungen in beliebiger Perspektive. Einziges Kriterium für die Qualität der Skizzen ist die Anschaulichkeit der zu übermittelnden Informationen. Erst wenn die gestellte Aufgabe vollständig mithilfe der Skizzen und Berechnungen gelöst ist, erfolgt eine maßstäbliche Zusammenstellung in einer Kontrollzeichnung. Diese dient dann

4.5.3. Auswahl eines äußeren Idealsystems

Ausgehend von den analysierten Ansätzen der Ein- und Ausgabe für eine CAD-Schnittstelle soll nun ein äußerstes Idealsystem ausgewählt werden. Es haben sich verschiedene Vor- und Nachteile sowohl einer drei- als auch einer zweidimensionalen Ein/Ausgabe gezeigt. Als optimal hat sich eine Kombination von Anzeige und Bedienelement in dem sogenannten Display-Tablett erwiesen. Die dreidimensionale Ein- als auch Ausgabe der Informationen ist noch mit gewissen Problemen behaftet. Außerdem entspricht sie nicht der üblichen Vorgehensweise des Konstrukteurs. Als zusätzliche Option kann sie jedoch auch dem Konstrukteur dienen. Für Designer, die in verstärktem Maße auch die Vorzüge der CAD-Systeme erkennen, stellen sie sicherlich einen großen Anreiz dar [Bürdek, Hannes, Schneider 1986].

Für den Konstrukteur sollte schon aus Akzeptanzproblemen eine der konventionellen Arbeitsweisen entsprechende Konfiguration gewählt werden. Es empfiehlt sich daher, die Integration des Display-Tabletts in einem herkömmlichen Zeichentisch. Dies gewährleistet zusätzlich optimale ergonomische Gestaltung hinsichtlich Sitzposition, Augenabstand, Greifraum, Blickfeld, Wahrnehmung und Kompatibilität. Die Arbeitsfläche sollte etwas über den Abmessungen des Büroschreibtisches (DIN 4549) mit etwa 2 x 1 m liegen. Die Anzeigefläche kann auf die Abmessungen entsprechend DIN A 1 reduziert werden, mindestens jedoch DIN A 3. Die Oberfläche des Zeichentisches sollte aus wärmeisolierendem Werkstoff bestehen und entspiegelt sein. Als Eingabemedium ist ein Stift zu bevorzugen, jedoch ohne störendes Anschlußkabel [Cakir 1987b]. Das Anzeigegerät sollte die geforderten Kontrastwerte erreichen (6:1 bis 10:1), eine hohe Auflösung haben (Auflösung des Auges: weniger als eine Winkelminute), Positivdarstellung ermöglichen, flimmerfrei sein (bei Positivdarstellung mindestens 60 Hz), Farben mit mehreren Graustufen, alphanumerische und graphische Darstellungen sowie Bewegbilder darstellen können. Die Eingabe muß ohne Parallaxe

erfolgen können. Außerdem sollte die Möglichkeit der dreidimensionalen Darstellung integriert werden. Als Eingabeverfahren müssen alle üblichen Verfahren der CAD-Interaktionen sowie die Skizzentchnik in ein einheitliches Eingabeverfahren integriert werden. Dazu wäre es sinnvoll, von der perspektivischen Darstellung auszugehen und durch drehen, rollen etc. die gewünschte Position des Bauteils zu erhalten. Für die Eingabe empfiehlt sich die Verwendung der üblichen Zeichentechnik (rißweise Darstellung). Zeichenlineale wie bei den üblichen Zeichentischen könnten die Eingabe sinnvoll unterstützen und den Konstrukteur anfangs mit dem Gerät vertraut machen. Nach einer Gewöhnungsphase sollte jedoch auf die effizientere Skizzeingabetechnik übergegangen werden. Eine maßstäbliche Darstellung ist dann nicht immer notwendig.

Die erstellten Zeichnungen müssen in einem Informationssystem schnell verfügbar sein. Genauso alle weiteren Unterlagen, wie Normen, Vorschriften, Berechnungsunterlagen etc. Hier empfiehlt sich die Verwendung optischer oder magneto-optischer Speicher [Strasser 1981, Hoechst 1987]. Als Informationsträger kann zusätzlich eine Großbildprojektion eingesetzt werden [Cortieux 1981]. Für die Kommandoingabe empfiehlt sich die Spracheingabe.

Damit ergibt sich das äußerste Idealsystem als Konstruktionszeichentisch mit integriertem Display. Die Eingabe erfolgt interaktiv mit zweidimensionalen Ansichten. Zusätzlich kann eine dreidimensionale Interaktion erfolgen. Kommandos werden gesprochen. Es ergibt sich in etwa folgende Konfiguration:



Abb. 4.2. Das äußerste Ideal

Eine ähnliche Konfiguration ist auch das Ergebnis der Arbeit eines Designers in seiner Diplomarbeit, die an der Gesamthochschule in Essen entstand [Kemker 1984.]. Die folgende Abbildung veranschaulicht seinen Vorschlag.

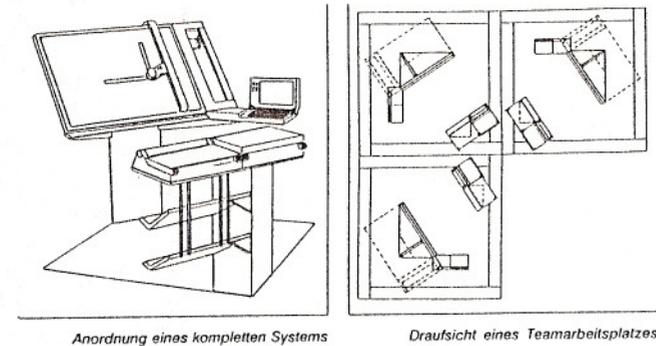


Abb. 4.3. Gestaltungsvorschlag für ein CAD-System [Kemker , 1984, S.20]

Die Arbeitsumgebung darf bei der Gestaltung nicht vergessen werden. Sie beeinflusst wesentlich die durch die Einführung eines CAD-Systems erhoffte Leistungssteigerung (Kap.3.2.11).

4.4. Ein technologisch durchführbares Lösungskonzept

Ausgehend von dem soeben entwickelten Idealsystem soll nach bereits vorhandenen Komponenten für die Realisation einer geeigneten Gerätekonfiguration gesucht werden. Dazu werden die bekannten Ein- und Ausgabetechniken hinsichtlich ihrer technischen Randbedingungen und Entwicklungsmöglichkeiten untersucht.

Verfügbare Anzeigegeräte

Hinsichtlich der verfügbaren Anzeigegeräte gibt es bereits ein Vielzahl auf dem Markt befindlicher Flachbildschirme. Die herkömmliche Kathodenstrahlröhre scheidet nicht nur wegen der schon angedeuteten Probleme mit der Reflexion und der Paralaxe aus. Auch ist eine Baugröße, wie sie von dem äußersten Idealsystem gefordert wurde (DIN A 3) in absehbarer Zeit nicht möglich. Weiterhinn scheinen die Kathodenstrahlröhren die Benutzer zu belasten und auf längere Sicht

Gesundheitsbeeinträchtigungen hervorzurufen [Hünting, Läubli, Grandjean 1983]; [Läubli, Hünting, Grandjean, 1983; Dainov 1983; Hünting, Läubli 1983, Kollert, Donderer, Boikat 1987]. Dies widerspricht auch dem ergonomischen Grundsatz der Umwelt-Unabhängigkeit [Cakir 1987a, 1987c].

Es existiert eine große Zahl von Techniken für flache Displays, die durch die Entwicklungen der Halbleiter-Technologie ermöglicht wurden. Zu den heutzutage entwickelten Techniken gehören [Castellano 1985,]:

Aktive Displays: Light Emitting Diode Displays (LED), Plasma Displays, Vacuum Fluorescent Displays (VFD), Thin-Film Electroluminescent (TF-EL), Thick-Film Electroluminescent, Flat Cathode Ray Tubes.

Passive Displays: Liquid Crystal Displays (LCD), Electrochromics, Electromagnetic Displays (Flip Card), Electrophoretic.

Im Folgenden will ich mich auf eine Auswahl der auf dem Markt Erhältlichen beschränken. Eine fast unübersehbare Anzahl von Flachbildschirmtechniken steht in der Entwicklungsphase und wird in den nächsten Jahren zu marktreifen großflächigen, farbigen und graphik-fähigen Flachbildschirmen führen. In der Güte der Darstellung der Zeichen und Graphiken der Kathodenstrahlröhre ebenbürtig, vielleicht sogar besser, sind Plasma-Displays. Wegen der Brillanz ihrer Darstellung haben sie sich trotz ihres hohen Preises in guten Textverarbeitungssystemen einen Markt erobert. Heutige Plasma-Displays erlauben die Darstellung von etwa 10.000 Charakteren mit etwa 700.000 Pixeln auf dem gesamte Bildschirm [Dunn 1985]. Das in einem Kohlraum befindliche vorionisierte Edelgas (Argon, Xenon) leuchtet bei einer Glimmentladung zwischen zwei Elektroden auf. Bei mit Wechselspannung betriebenen Plasma-Displays befinden sich die Elektroden auf der Außenseite eines dünnen Glases, bei mit Gleichspannung betriebenen innen. Die Farbe der Zeichen ist neon-orange, kann jedoch durch Einbringen zusätzlicher Leichtstoffe verändert werden [Castellano 1985]. Die Leuchtdichte der Anzeige ist nicht beeinflussbar und hängt sehr stark vom Ausstrahlungswinkel ab. Gerade bei einer senkrechten Blickrichtung auf den Bildschirm ist die Leuchtdichte sehr viel geringer als etwa unter 45 Grad [Cakir 1987c]. Dies beeinflusst die Verwendbarkeit gerade auch für die graphische Interaktion erheblich [Cakir 1987a]. Zusätzlich ist durch die relativ dicke Frontscheibe eine Eliminierung der Parallaxe aus technologischen Gründen nicht möglich. Derartige Erfahrungen werden auch von anderen Untersuchungen zur Handschrifteneingabe mittels transparenter graphischer Tablettts über Plasma-Bildschirmen bestätigt. [Tappert, Fox, Kim 1986]. Es ergab sich ein Abstand Anzeige - Tablettoberfläche von 11,5mm, wovon ca. 6,4 mm auf das Plasma-Display zurückzuführen sind, etwas unter 6 mm auf das Tablett [Ebenda, S. 309]. Weiterhin ist nicht zu erwarten, daß die Plasma-Displays die geforderte Mindestgröße von DIN A 3 jemals erreichen werden. Aus diesen

Gründen wurde das Plasma-Display aus der Marktanalyse ausgenommen.

Flüssigkristall-Displays finden heute schon vielfache Anwendung in Uhren, Taschenrechnern, tragbaren Computern etc. Erst mit der Entwicklung sogenannter Breitbereichsmischungen (-50 - + 80 Grad C) war dies möglich. Sie zeichnen sich durch eine geringe Leistungsaufnahme und hohe Lebensdauer (ca. 100.000 h) aus. Nachteilig wirkten sich bisher der geringe Kontrast und Betrachtungswinkel (maximal 60 Grad) aus. Dies kann jedoch heute mit Farbstoffzellen [Quotschalla, Haase 1987], Supertwisted Birefringence Effect (SBE) [Kinugawa, Kando, Kanasaki 1986] und weiteren Effekten wesentlich verbessert werden. Farbliche Darstellungen können bis jetzt nur in kleinen Aktiv-Matrix-Displays realisiert werden [Nasu u.a. 1986; Funada u.a. 1986]. Mit der Einführung von schnellschaltenden ferroelektrischen Flüssigkristallsystemen [Bahr, Heppke, Oesterreicher 1987] steht in etwa drei Jahren eine völlig neue Technik zur Verfügung. Diese bietet die Möglichkeit zu großflächigen Farbbdisplays, aber auch direkter Koppelung mit einem Lichtsstift [Heppke 1987].

Zur Zeit befinden sich sehr billige und leistungsfähige LCD-Bildschirme mit einer Größe von etwa DIN A 4 auf dem Markt. Sie sind vorwiegend in tragbaren Laptop-Computern eingesetzt und finden dort großen Anklang wegen der guten Lesbarkeit [Ernst 1987; Druck 1987]. Versuche mit durchsichtigen Tablettts auf LCD ergaben sehr gute Resultate, offensichtlich wegen der verringerten Parallaxe. Es ergab sich ein Abstand von 4,5 mm zwischen der Ein- und Ausgabe-Ebene. Die Geschwindigkeit der Eingabe war vergleichbar mit der auf einem normalen Digitalisiertablet [Tappert, Fox, Kim 1986].

Vakuum Fluorescent Anzeigen scheinen ebenfalls sehr gute Eigenschaften bezüglich der Lesbarkeit und Auflösung zu erreichen. [Morimoto, Pykosz 1986]. Genauso EL-Monitore.

Die neue SBE-Technik der Flüssigkristalle liefert jedoch genauso gute oder bessere Eigenschaften, wie die anderen Monitore bei einem geringeren Preis. Außerdem ist die passive Positivdarstellung angenehmer für das Auge (mein subjektives Empfinden). Eine gute Sichtbarkeit ist auch im Tageslicht gewährleistet.

Die Marktanalyse wurde deshalb auf Flüssigkristall-bildschirme konzentriert. Es wurden etwa 15 Zeitschriften der Elektronik und Computerpraxis teilweise bis in das Jahr 1982 zurückverfolgt.

5. Marktanalyse

Da ich nun schon seit etwa 2 Jahren mit der Idee der Integration eines Displays in ein kleines Zeichenbrett als Interaktionsmedium für kleinere Personal-Computer beschäftigt bin, habe ich in dieser Zeit den Markt mehr oder weniger regelmäßig nach Komponenten für eine derartige Schnittstelle untersucht. Dabei lag mein Interesse mehr an einer "Schnittstelle für jedermann". Ein solches Ein- und Ausgabeinstrument muß auch für die graphische Interaktion geeignet sein. Insofern gab es bei der Marktanalyse für diese Schnittstelle teilweise Überdeckungen bezüglich der Komponenten mit dem hier vorgeschlagenen System des Display-Tabletts.

Bis zur Hannover Messe (Cebit) im Frühjahr 1987 konnte keine geeignete Konfiguration gefunden werden. Auf der Cebit 87 wurden dann die ersten LCD-Bildschirme mit einer Auflösung von 640 x 400 Punkten vorgestellt. Gleichzeitig erschienen der "Integrated Display Digitizer" der Firma Photron. Dies war der Auslöser für einen intensiven Kontakt mit zahlreichen Firmen bezüglich der LCD-Bildschirme sowie der Anstoß zu der Erstellung der vorliegenden Arbeit. Nachdem im Sommer dieses Jahres die Aufgabenstellung fertig war, wurde meine Suche in Fachzeitschriften nach den entsprechenden Bauteilen für eine erste Version eines Display-Tabletts intensiviert. Die Suche konzentrierte sich vor allem auf einen entsprechenden Bildschirm, da mir die Eingabeform noch völlig unklar war. Im Laufe des Literaturstudiums und dem weiteren Fortschreiten der Arbeit schälten sich langsam mehrere Ein-Ausgabe-Versionen heraus. Erst zum Abschluß der Arbeit ergab sich dann das endgültige Konzept.

Wegen des Display-Digitizers der Firma Photron entspann sich zur gleichen Zeit ein reger Briefkontakt nach Japan. Denn der Display Digitizer war im Prinzip dem gewünschten Produkt sehr ähnlich. Durch die Erfahrung der vorhergehenden Jahre, die Mühen und Probleme eines solchen Gerätes nicht zu unterschätzen, war ich ausgesprochen glücklich, jemanden gefunden zu haben, der ein solches Display Tablett bauen konnte. Es ging mir im Prinzip nur darum, die Vorteile einer solchen Lösung bewußt zu machen. Aber die Japaner waren schon auf der Messe nicht in der Lage, ein funktionstüchtiges Gerät vorzuführen. So endete auch der Schriftverkehr ohne irgendwelche Resultate.

Gegen Ende meiner Arbeit hatte ich einige 640x400 Matrix Flüssigkristalldisplays finden können. Inzwischen werden von allen Anbietern die Supertwisted Bifringence Effect (SBE) LCD-Zellen angeboten. Es gibt jedoch noch Unterschiede bezüglich der verschiedenen Ausführungen. Die für den Anwender einfachste und bequemste Ausführung ist das von Sharp angebotene Display mit eingebautem RGB-Controller (LM 640.23 W). Dieses Display wird von der Firma Rein-Elektronik (Nettetal) für 980,- DM angeboten (Oktober 1987). Diese Version läßt keine Möglichkeiten für eine Hintergrundbeleuchtung. Ohne

RGB-Interface gibt es bereits Ausführungen (LM 640.15 W) für 750,- DM, mit Hintergrundbeleuchtung (LM 640.15 T) für 805,- DM. Die Bildschirme haben Außenmaße von ca. 266x174x10 mm und Display-Maße von 237x151 mm. Für eine frei wählbare Hintergrundbeleuchtung können Module mit Chip-on-Glas-Technik gewählt werden. Dabei sind die Ansteuerungen auf dem Glas des Displays integriert, was eine noch geringere Einbautiefe ermöglicht. Diese werden von den japanischen Herstellern Kyocera angeboten mit den Abmaßen 262x138 mm. Einen Preis habe ich noch nicht erhalten. In einigen Monaten werden noch größere Display-Module erwartet.

Als Eingabetechnik bieten sich vor allem durchsichtige Tablett an. Diese könnten einfach auf das Display gelegt werden. Ist das Display dünn genug, ergeben sich keine Probleme hinsichtlich der Parallaxe. Eine zweite Version ergibt sich für das Tablett hinter dem Display. Dann muß das Display sehr dünn sein und das Tablett sollte sehr empfindlich auch in größerer Entfernung des Stiftes reagieren. Auch hier ergibt sich wieder ein Vorteil für durchsichtige Tablett. Denn nur LCD-Displays ermöglichen die dafür notwendige flache Bauweise. Sie könnten dann durch ein durchsichtiges Tablett beleuchtet werden.

Die einzigen durchsichtigen Tablett, die ich finden konnte, werden von der Firma Scriptel (USA) hergestellt. In Deutschland werden sie von den Firmen Pfalzgraf (Hamburg) und Gräbert (Berlin) vertrieben. Das Tablett besteht aus gesintertem Glas mit schlechter Wärmeleitfähigkeit (ergonomisch günstig) und nur etwa 6-7mm Dicke. Das Tablett hat eine Auflösung von 0.025 mm und eine Genauigkeit von 0,25 mm. Es liegt damit - selbst mit der Genauigkeit - innerhalb der Pixelgröße der LCD-Bildschirme. Die Lage des Stiftes wird über induktive Schleifen gemessen (Resistive Decoding Technology, RDT) und ermöglicht eine Funktion des Fadenkreuzsuchers schon bei einem Abstand von 6,4 mm vom Tablett. Dies kann werkseitig auf 25,4 mm erhöht werden. Der Scriptel Digitizer eignet sich daher für sowohl das Auflegen auf wie das Unterlegen unter den Bildschirm. Die Preise schwanken zwischen 2.000 DM und 10.000 DM für verschiedene Größen.

Als erweiterte Version für das CASUS-System empfehle ich die Realisation eines Display-Tablett in Gestalt eines Zeichenbretts. Dafür wären vier Flachbildschirme wie ein durchsichtiges Tablett in der Größe 610x914 mm notwendig. Kosten: ca. 14.000 DM pro Stück.

Vorher ist jedoch eine genauere Analyse der aufgezeigten Techniken erforderlich. Dies kann nur in Form einer anschaulichen Analyse geschehen. Eine Marktanalyse kann nicht alle Detailprobleme ermitteln. Falls erforderlich, müßten ein kleines Scriptel Tablett und ein Flachbildschirm gekauft werden. Kosten: ca. 3.000 DM.