

Entwerfen und Zeichnen mit Computer und Bildschirm

nes formales Schema beschreiben: Es gibt keine detaillierte Vorschrift, welche den heuristischen, nicht prognostizierbaren Prozeß des kreativen Denkens oder Schaffens beschreibt. Aus den gleichen Gründen gibt es weder jetzt noch in Zukunft ein Universalrezept zum Entwurf von Problemlösungsalgorithmen.

Hiermit soll nicht gesagt werden, daß die Grenze zwischen mechanisierten und formalisierten intellektuellen Prozeduren einerseits und der menschlichen „Kunst“ andererseits nicht verschoben werden könne. Es kann jedoch als sicher gelten, daß jenseits dieser Mechanisierungsgrenze immer eine ausgedehnte Hierarchie intellektueller Denkprozesse bestehen bleiben wird. Diese Grenze kann man auch als Schnittstelle zwischen Kunst und Algorithmus bezeichnen. Sie entspricht der Schnittstelle zwischen Mensch und Computer bei Dialog- oder Wechselwirkungssystemen. Ein wichtiges Verfahren der Manipulation kreativer Ideen verkörpert hierbei die auf grafischer Kommunikation basierende Schnittstelle Mensch—Maschine.

EDV-Anlagen
als Zeichenstift, Reißbrett
und Rechenschieber
einer künftigen
Ingenieur-Generation

REINER HARTENSTEIN

Bei vielen Anwendungen der elektronischen Datenverarbeitung erweist sich die direkte Kommunikation zwischen Mensch und Maschine als die effektivste Form der Zusammenarbeit. Hierbei kann unterschieden werden zwischen Dialogsystemen und Wechselwirkungssystemen (Man-Machine Interactive Systems). Bei letztgenannten ist die grafische Kommunikation das wichtigste Verfahren zur Koppelung zwischen Mensch und Maschine.*

Kreative Tätigkeit und grafische Darstellung

In der Anfangsphase von Ingenieurleistungen und vielfach auch von Forschungsaktivitäten sind grafisch gestützte Denkprozesse ein natürliches Arbeitsmittel. Ein Ingenieur wählt instinktiv die Skizze als Mittel zum Festhalten von Ergebnissen seiner Kreativität. Sie dient ihm dabei vielfach als Gedächtnishilfe zur Formung und Fixierung seiner Ideen.

Die ersten Phasen innovierender Ingenieurleistung, also Entwurf und Konstruktion, lassen sich kaum durch ein allgemei-

Der Bildschirm als Schnittstelle zwischen Kunst und Algorithmus

Die übliche Realisierung dieser grafischen Schnittstelle ist wohlbekannt und umfaßt einen vom Computer gesteuerten Bildschirm, einen Lichtgriffel (oder eine Ersatzeinrichtung hierzu, wie z. B. die Rollkugel) zum Zeichnen und Manipulieren grafischer Darstellungen, eine alphanumerische Tastatur zur Eingabe von Beschriftungen, Befehlen oder Daten, sowie eine programmierbare Funktionstastatur zum Aufruf häufig benötigter Routineunterprogramme (Bild 1). Die äußere Form dieser Utensilien unterscheidet sich in ihren wesentlichen Merkmalen bis heute nicht von ihrem klassischen Vorbild, dem durch Sutherland 1962 fertiggestellten grafischen Kommunikationssystem SKETCH-PAD.

Demgegenüber ist die interne technologische Realisierung von Bildschirmgeräten einem derart raschen Wandel unterworfen, daß heute vier Generationen solcher Systeme gleichzeitig in Betrieb sind. Ihr Preis-Leistungs-Verhältnis verbessert sich sehr rasch. Für grafische und rein alphanumerische Geräte zusammen ist heute die Summe der in den USA installierten Geräte eine sechsstellige und die Anzahl der Hersteller in Amerika und Westeuropa eine dreistellige Zahl. Auch für grafische Systeme gilt trotz vieler erfolgreicher praktischer Anwendungen, insbesondere in der Flugzeug- und Automobilindustrie, daß wir hinsichtlich der Anwen-

* Vgl. hierzu: Steinbuch, K.; Hartenstein, R.: Zukunftsaspekte der Informationstechnik, in „Techniken der Zukunft“ Nr. 1, S. 19—22; sowie: Hartenstein, R.: Management-Information durch Computer mit Bildschirm, in „Techniken der Zukunft“ Nr. 2, S. 25—28.

#

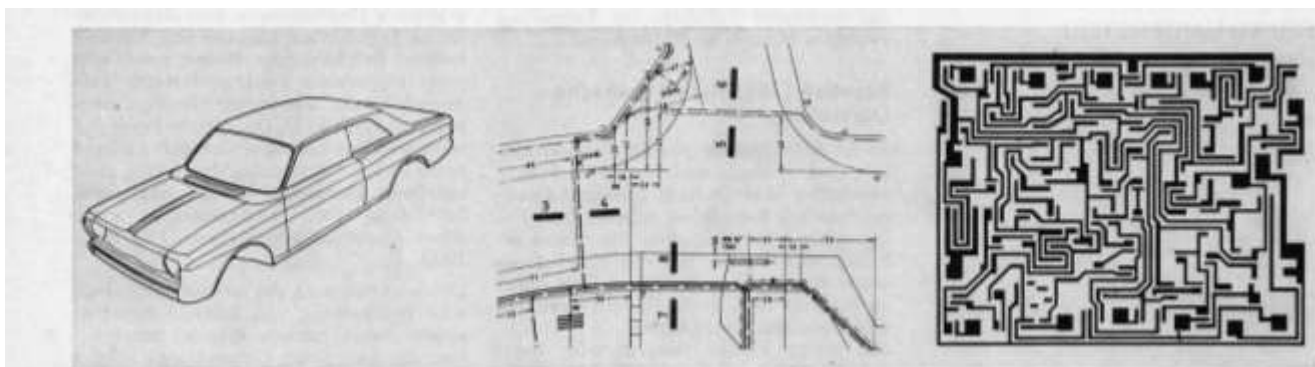
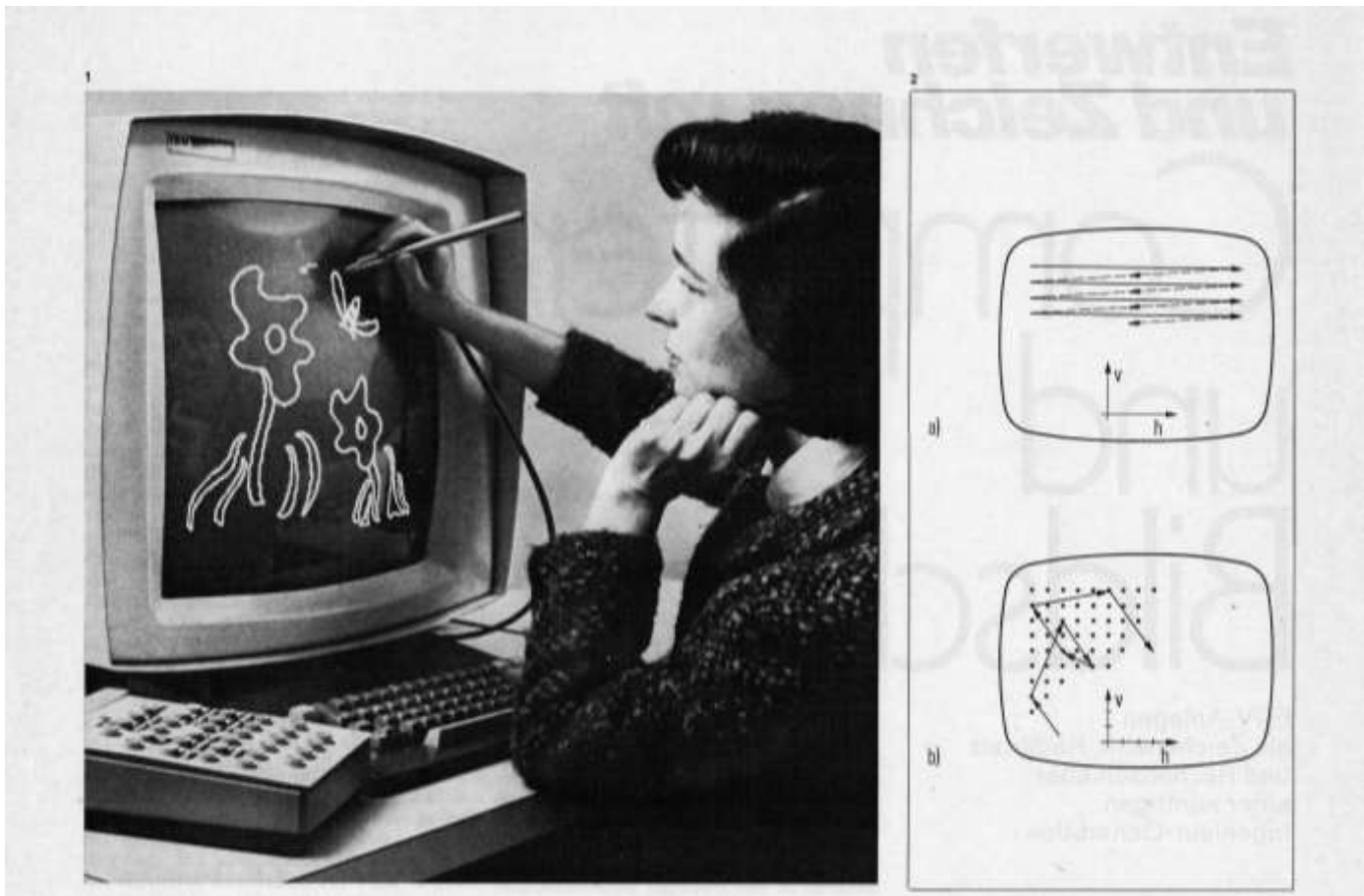


Bild 1: Utensilien eines Bildschirmgeräts sind der Bildschirm selbst, der Lichtgriffel zum Zeichnen und Markieren, die alphanumerische Eingabetastatur (unten Mitte) und die Funktionstastatur zum Aufruf von Unterprogrammen (unten links) (Werkfoto: IBM)

Bild 2: Lichtpunktsteuerung (vertikal = v und horizontal = h);
 a) beim Fernsehen: starres Zeilenschema;
 b) beim Bildschirmgerät: individuelle Ablenksteuerung innerhalb eines Punktrasters

Bild 3: Beispiele für die Anwendung der grafischen Datenausgabe

dung noch ganz am Anfang der Entwicklung stehen.

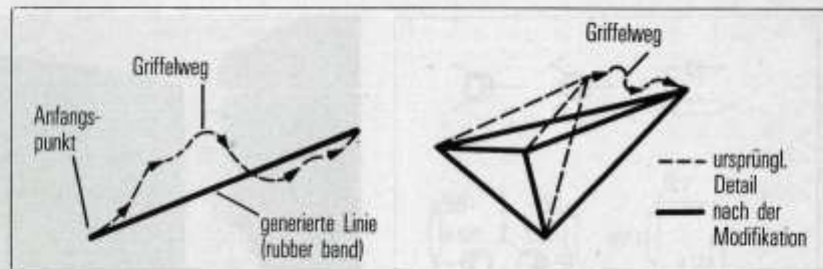
Bei Bildschirmgeräten für grafische Ein- und Ausgabe können im Prinzip folgende Typen von Funktionen unterschieden werden:

1. grafische (und gemischt grafische/alphanumerische) Ausgabe des Computers über den Bildschirm; das ist an sich noch keine Wechselwirkung;
 2. Eingabe grafischer Darstellungen durch den Benutzer mittels Lichtgriffel und Bildschirm; Wechselwirkung zwischen Benutzer und Computer, der die Griffelbewegung laufend nachvollzieht;
 3. Veränderung vom Computer ausgehender grafischer Darstellungen (Bildmodifikation) durch den Benutzer; Wechselwirkung unter Verwendung des Lichtgriffels;
 4. Ausführung numerischer oder anderer Algorithmen auf der Basis der zur Bildschirmsteuerung vorhandenen Datenstrukturen; je nach Problem Wechselwirkung oder Dialogbetrieb.
- Auf diesen vier Funktionstypen beruht die Gliederung des folgenden Teils dieses Aufsatzes.

Speicherung und Wiedergabe von Linienmustern durch Computer

Wie von der Fernsehtechnik her bekannt ist, erzeugt eine Katodenstrahlröhre auf ihrem Bildschirm einen kleinen Lichtpunkt, der unter Ansteuerung der beiden Ablenssignaleingänge (horizontal und vertikal) der Röhre auf der Bildschirmfläche beliebig bewegt werden kann. Über einen dritten Steuereingang kann die Helligkeit des Lichtpunktes variiert werden bis herab zu völliger Unsichtbarkeit. Die Geschwindigkeit des Lichtpunktes ist so groß, daß infolge der Trägheit des menschlichen Auges sein gesamter Weg gleichzeitig und somit als stehendes Bild gesehen wird. Für einen flimmerfreien Dauereindruck muß das Fahrprogramm des Lichtpunktes mindestens 25mal in der Sekunde wiederholt werden, wenn man nicht zu einer Speicherbildröhre greifen will.

Fernsehgerät und Bildschirmgerät unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der Steuerung des Lichtpunktes. Die Bildröhre eines Fernsehgeräts wird letzten Endes durch einen Fernsehsender gesteuert, während dies beim Bildschirmgerät ein Computer übernimmt. Während ferner beim Fernsehgerät der Lichtpunkt einem starren Zeilenschema folgt (Bild 2 a), liegt beim Bildschirmgerät für jedes Bild ein eigenes Fahrprogramm innerhalb eines Punktrasters vor (Bild 2 b). Bei den meisten Geräten können neben Verbindungsgeraden zwischen diesen Rasterpunkten aber auch



Kreisbögen, Ellipsenbögen und andere Kurvenstücke geschrieben werden. Schließlich hat das Fernsehen — wir lassen einmal das Farbfernsehen außer Betracht — Grautonbilder und überträgt die Bildinformation ausschließlich über die Helligkeitssteuerung des abbildenden Strahls. Beim Bildschirmgerät hingegen wird meistens nur zwischen Schwarz und Weiß unterschieden, und der Informationsgehalt des Bildes geht im wesentlichen über die dem Fahrprogramm folgende Ablenksteuerung.

Bildschirmgeräte für Computergrafik ermöglichen die Wiedergabe auch komplizierter und umfangreicher grafischer Darstellungen unter Einbeziehung zugehöriger, beliebig positionierter Beschriftungen. Einige dieser Möglichkeiten, die die Vielfalt der Darstellungsmöglichkeiten auf dem Bildschirm veranschaulichen sollen, sind aus Bild 3 ersichtlich; im übrigen sei auch auf die folgenden Bilder dieses Aufsatzes verwiesen.

Computer als Mittler zwischen Zeichenstift und Reißbrett

Zeichnungen und andere Linienmuster können über Bildschirmgeräte nicht nur ausgegeben, sondern mit Hilfe des Lichtgriffels (Bild 1) durch Zeichnen auf dem Bildschirm in den Computer eingegeben werden, wobei im einfachsten Fall eine Art Leuchtspur des Griffelwegs entsteht. Hierbei tastet das Bildschirmgerät durch entsprechende Steuerung des Lichtpunktes die Schirmfläche ab. Befindet sich dabei die Griffelspitze dicht an der Schirmfläche, so „sieht“ eine in die Griffelspitze eingebaute Photozelle einen Lichtblitz in dem Augenblick, wenn der Lichtpunkt die Griffelspitze passiert. Im gleichen Augenblick schickt der Lichtgriffel über sein Anschlusskabel einen Unterbrechungsbeleg an den Computer. Dieser kann sich den entdeckten Punkt „merken“ indem er an der entsprechenden Stelle in seiner Bilddatenstruktur ein Markierungsbit (einen „Merker“) abspeichert. Damit zur Information des Benutzers die er-

Bild 4: Einfache Beispiele für computer-gestütztes Zeichnen mit Bildschirm und Lichtgriffel;

a) der Computer als Lineal (Gummifadeneffekt);

b) Anwendung des Gummifadeneffekts zur sogenannten Bildmodifikation

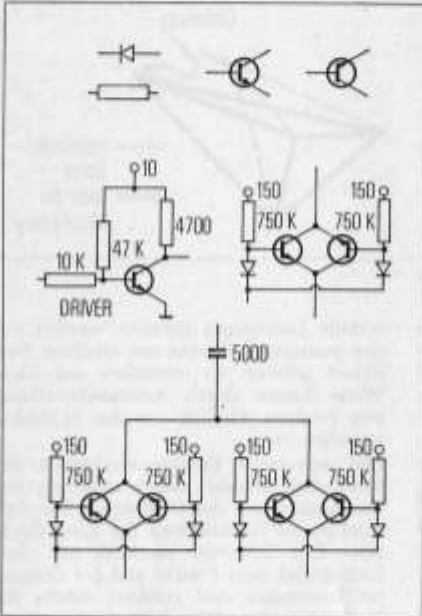
wähnte Leuchtspur entsteht, werden solche markierten Punkte mit erhöhter Helligkeit gezeigt. Es entstehen auf diese Weise Linien durch Aneinanderreihung von Punkten, ähnlich wie das in Bild 1 zu sehen ist.

Die universelle Programmierbarkeit des Computers erlaubt jedoch mehr als nur das Registrieren der Griffelspur. Ein Beispiel ist die Nachbildung der Linealfunktion: Der Benutzer markiert mit dem Lichtgriffel zwei Punkte und der Computer konstruiert und zeichnet hierzu die Verbindungsgerade aufgrund eines über die Funktionstastatur (links in Bild 1) gegebenen Kommandos. Eine Verbesserung der Linealfunktion bietet der Gummifadeneffekt (rubber banding): Von der Anfangsposition des Lichtgriffels ausgehend wird während der gesamten Griffelbewegung laufend die augenblickliche Verbindungsgerade zur Griffelspitze angezeigt. Dem trägen menschlichen Auge entsteht der Eindruck, als zöge die Griffelspitze einen Gummifaden aus ihrer Anfangsposition heraus (Bild 4 a). Dieser Gummifadeneffekt eignet sich auch zur Veränderung vorhandener Bilder (Bildmodifikation). Bild 4 b) veranschaulicht das Prinzip hierzu.

Ein weiteres Beispiel für die Möglichkeiten des computer-gestützten Zeichnens ist die automatische Vervielfältigung von Bildeinheiten. Bild 5 zeigt hierzu als Beispiel das Zeichnen eines Schaltbilds. Am oberen Bildschirmrand sind 4 aufrufbare Bildbausteine zu einer Art Katalog zusammengefaßt. Mittels einer Funktionstaste werden Lichtgriffel und Bildbausteine quasi aufeinander „magnetisiert“ zwecks Transports an die benötigte Stelle im Bild. Der Gummifadeneffekt ermöglicht dann die Drehung und Längenänderung an den positionierten Bildbausteinen, bis sie sich zu dem gewünschten Gesamtbild zusammengefügt haben.

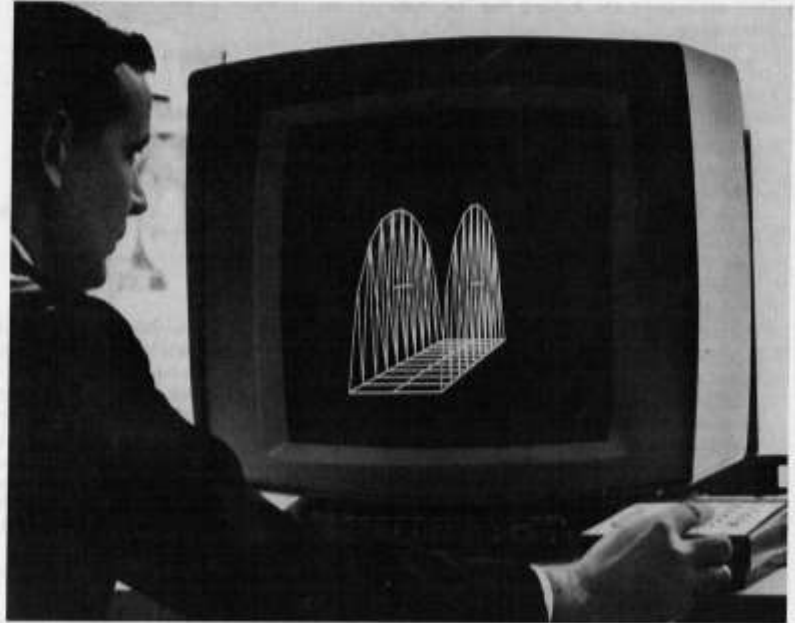
Es gibt eine Vielzahl von Programmen, mit denen sich derartige rechnergestützte Zeichenfunktionen verwirklichen lassen. Die folgende Aufstellung nennt nur eine kleine Auswahl davon.

Bild 5: Beispiel für das computergestützte Zeichnen eines Schaltbilds (nach Sutherland)



5

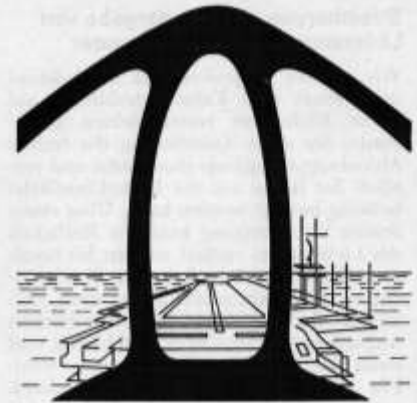
Bild 6: Bildschirmdarstellung dreidimensionaler Objekte. Mit Funktionstasten können beliebige Blickwinkel, Perspektiven und auch Bildausschnitte gewählt werden (Werkfoto: IBM)



6



7

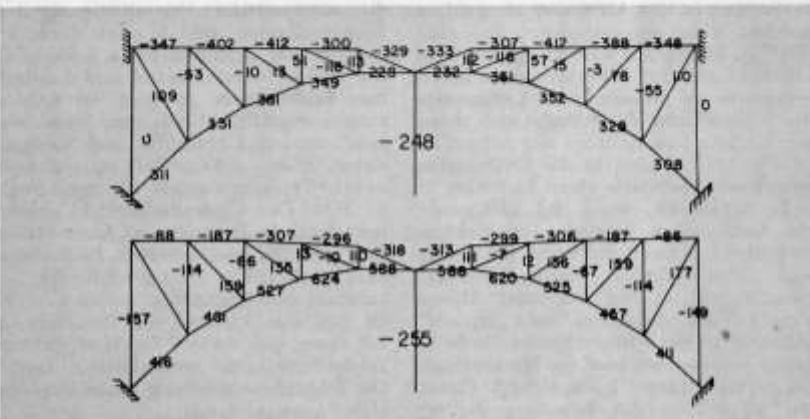


8

Bild 7: Großformatige automatische Zeichenmaschine für den Flugzeugbau (Werkfoto: VFW-Fokker)

Bild 8: Anwendungsbeispiel für Computergrafik bei der Belastungsanalyse eines Fachwerks (nach Sutherland)

Bild 9: Momentdarstellung aus der Bildschirmanzeige der Echtzeitsimulation eines Landeanflugs



9

- Definition eines Punkts
- Definition einer Geraden
- Definition eines Kreisbogens
- Definition eines Ellipsenbogens
- Definition von Segmenten anderer Kurven
- Definition eines Winkels
- Duplikation von Teilbildern
- Löschen von Teilbildern
- Drehung des Bilds
- Verschiebung des Bilds
- Maßstabänderung am Gesamtbild
- Drehung und Verschiebung von Teilbildern
- Maßstabänderung bei Teilbildern
- Konstruktion einer Tangente
- Konstruktion eines tangierenden Kreisbogens
- Konstruktion einer Parallelen
- Verschiebung eines Schnittpunkts längs einer Geraden oder einer Kurve
- Zur-Deckung-Bringen von Punkt und Gerade oder Kurve oder von zwei Geraden.

Modellieren am Bildschirm ("interactive dynamic modelling")

Wie am zweidimensionalen Reißbrett, so können auch auf dem Bildschirm Abbildungen dreidimensionaler Objekte dargestellt werden. Bei Vorliegen einer dreidimensional organisierten Bilddatenstruktur im Speicher des Rechners sowie einer variablen Abbildungsfunktion zwischen Datenstruktur und Bildschirm, die etwa über die Funktionstastatur wählbar ist, kann das Objekt auf dem Bildschirm beliebig gedreht und verschoben und auf diese Weise aus beliebigen Blickwinkeln und Perspektiven betrachtet werden. In Bild 6 ist als Beispiel die perspektivische Darstellung einer Brückenkonstruktion auf dem Bildschirm zu sehen. Die Illusion der dritten Dimension läßt sich bei diesem Verfahren so weit vervollkommen, daß die Anwendung von Bildschirmgeräten den Bau von Modellen für Stilstudien ersetzen kann. Hiervon macht die amerikanische Automobilindustrie zur Entwicklung neuer Modelle Gebrauch (s. Bild 3). Die auch auf solche Darstellungen dreidimensionaler Objekte anwendbare Bildmodifikation mittels des Lichtgriffels ermöglicht eine erhebliche Zeitersparnis gegenüber den Stilexperimenten des konventionellen Modellbaus.

Genauigkeit von Zeichnungen

Die Möglichkeit beliebiger Drehung, Verschiebung und Maßstabänderung läßt den Bildschirm als Fenster erscheinen. Bei starker Vergrößerung reicht die Bildschirmfläche nur für einen Ausschnitt. Die zugrundeliegende Datenstruktur bleibt dabei jedoch unverändert und voll-

ständig. Die Genauigkeit dieser Datenstruktur kann also unabhängig vom Auflösungsvermögen des Bildschirms beliebig hoch getrieben werden. Dies kann genutzt werden durch vergrößerte Wiedergabe eines Bildausschnitts auf dem Bildschirm oder durch Anfertigung großformatiger Zeichnungen mit Hilfe automatischer Zeichenmaschinen (Bild 7). Nach einer vorhandenen Datenstruktur kann eine solche Zeichenmaschine durch den Rechner gesteuert werden, und zwar entweder über direkten Anschluß, oder durch Vermittlung eines zwischengeschalteten Datenträgers, wie z. B. eines Magnetbands. Diese Zeichenmaschinen (Plotter) erreichen Genauigkeiten bis $\pm 0,1$ mm und darunter auf Zeichenflächen bis zu 30 m^2 und mehr. Solche großen Formate sind insbesondere im Schiffbau und im Flugzeugbau von Interesse.

Bildschirmgeräte sind mehr als Zeichenhilfen

Die bisherigen Abschnitte behandeln nur Probleme geometrischer Natur. Darüber hinaus sind jedoch Programmieretechniken bekannt, die eine automatische Verknüpfung bieten zwischen der den Bildschirm steuernden Datenstruktur einerseits und den verschiedensten problemorientierten Anwendungsprogrammen andererseits. Es seien hierzu nur wenige Beispiele, und zwar Probleme aus der Mechanik genannt:

- Berechnung und Wiedergabe von Belastungen und Verformungen
- grafische Wiedergabe der Bewegungen von Mechanismen
- automatische Erstellung von Fertigungs- und Serviceunterlagen
- Berechnung von Volumen, Gewicht und Materialkosten
- Berechnung von Maschinenzeiten
- Berechnung von Werkzeugpfaden
- Erstellung von Datenträgern für numerische Steuerung.

Bild 8 zeigt am Beispiel des Schirmbilds einer Brückenkonstruktion die Verknüpfung von grafischer Darstellung und statischer Berechnung. Die Zahlen geben die Belastungen der einzelnen Konstruktionselemente an, wobei in der Mitte die (nicht ganz senkrecht angreifende) zentrale Last angezeigt wird. Der Konstrukteur kann mit einem derartigen intelligenten grafischen System extrem zeitsparende statische Experimente durchführen. Bei Anwendung auf Serienprodukte ist ein solches System, geschickt ausgebaut und eingesetzt, in der Lage, die Zeitspanne zwischen Produktidee und Fertigungsbeginn sehr stark herabzusetzen, indem es Entwurf, Kalkulation, Produktoptimierung,

Erstellung von Datenträgern für numerische Maschinensteuerungen und Produktdokumentation sowie andere Nebentätigkeiten integriert. Solche „intelligenten“ grafischen Systeme sind nicht nur auf mechanisorientierte Probleme, sondern fast überall in Forschung, Entwicklung und Produktion nützlich anwendbar, wofür nur wenige Stichworte als Beispiele genannt seien:

- Entwurf elektrischer Schaltkreise
- Entwurf digitaler Systeme
- Entwurf gedruckter Schaltungen
- Entwurf regeltechnischer Systeme
- Planung automatischer Prozesse
- Verifizierung theoretischer Modellvorstellungen
- Simulation technischer Systeme
- Simulation von Mensch-Maschine-Systemen.

Nicht nur ökonomische Aspekte aber sind wichtig für die Anwendung „intelligenter“ grafischer Systeme, sondern oft auch andere Gesichtspunkte, wie etwa Sicherheitsgründe bei der Ausbildung von Piloten für Luft- und Raumfahrzeuge. Bild 9 zeigt eine mit dem Bildschirm erzeugte

Nachbildung des Ausblicks aus dem Frontfenster eines Flugzeugs zur Verwendung in einem Trainingssimulator. Die Reihe der Beispiele ließe sich beliebig fortsetzen, allein schon durch Anwendungen bei computergestützten Überwachungssystemen (Schaltwarten, Luftraumüberwachung, u. a. m.) oder bei computergestütztem Unterricht.

Weniger Kostenfrage als Ausbildungsproblem

Die Anwendung „intelligenter“ grafischer Systeme beginnt demnach sich auf den verschiedensten Anwendungsgebieten auszubreiten, ermutigt durch eine Reihe von Erfolgen. Gleichzeitig werden zur Erleichterung des Gebrauchs solcher Systeme problemorientierte Programmiersprachen entwickelt. Wir erleben hier wieder einmal eine Wandlung des Berufsbildes des Ingenieurs. Die Datenverarbeitungstechnik wird gleichzeitig Zeichenstift, Reißbrett und Rechenschieber einer künftigen Ingenieurgeneration. Die Geschwindigkeit der dorthin führenden Entwicklung wird weniger von der Finanzierung her als vielmehr davon begrenzt werden, wie schnell es gelingen wird, genügend Ingenieure — und auch Manager! — entsprechend auszubilden.

Wünschen Sie zu dem Thema des vorstehenden Aufsatzes weitere Informationen? Wir senden Ihnen Angaben über weiterführende Literatur und nennen Ihnen auch die Anschrift des Autors, der Ihnen Sonderfragen sicher gern beantwortet. Kreuzen Sie bitte an die **Leserdienst-Kennziffer 1**.