Vom Funk zur Schlüsseltechnologie : Elektronik in unserem Jahrhundert

Autor(en): **Guggenbühl, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **85 (1994)**

Heft 17

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902588

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Wie keine andere Wissenschaft widerspiegelt die Entwicklung der Elektronik den enormen technischen Fortschritt unseres Jahrhunderts. Der Autor, der die Elektronik-Entwicklung der Schweiz mitgetragen und mitgeprägt hat, gibt einen spannenden Überblick über diese Entwicklung, an deren Anfang die entscheidende Erfindung der Elektronenröhre steht und deren offenes Ende weite offene F&E-Landschaften erahnen lässt, Landschaften, in denen die Elektronik auch vor der Komplexität des menschlichen Hirns nicht zurückscheut.

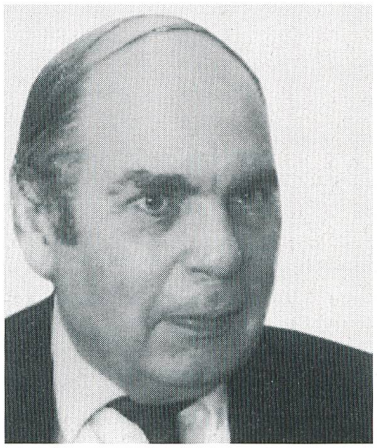
Vom Funk zur Schlüsseltechnologie

Elektronik in unserem Jahrhundert

■ Prof. Dr. W. Guggenbühl

Den meisten Menschen begegnet Elektronik in der Form von Geräten und Systemen. Einige Beispiele aus der Informationstechnik sind als oberste Schicht in Bild 1 aufgelistet, unter anderem das satellitengestützte Vermessungssystem GPS (Global Positioning System), das als Repräsentant eines die vielseitigen Ergebnisse fortgeschrittener elektronischer Systemtechnik und Technologie nutzenden Systems die Möglichkeiten erahnen lässt, was uns diese Technik noch bescheren wird.

Die nachfolgende Abhandlung wird sich jedoch hauptsächlich mit den unteren Schichten von Bild 1 befassen, die mit «Schaltungen» (Funktionen) und «Komponenten» bezeichnet sind. Für diese Gebiete wurde vor 20 Jahren meine Professur an der ETH errichtet; seither sind weitere Kollegen dazugestossen, mit denen ich mich sukzessive in dieses heute als Mikroelektronik bezeichnete Gebiet teilte. Ein weiterer Grund legt nahe, diese technologischen Schichten ins Zentrum einer Rückschau zu stellen. Die geradezu revolutionären Entwicklungen der Komponenten- und Schaltungstechnologie sind der wesentliche Antriebsmotor der umwälzenden Änderungen von Geräten und Systemen der Informationstechnik, mit denen auch der Nichtspezialist fast täglich konfrontiert ist.



Am 1. Dezember 1993 ist Professor Dr. Walter Guggenbühl, ETH Zürich, in den Ruhestand getreten. Professor Guggenbühl ist einer ganzen Generation von ETHZ-Absolventen sowie vielen andern Elektronik-Fachleuten ein Begriff, war er doch einer der ersten Schweizer Dozenten, die sich bereits in den 50er Jahren intensiv mit der damals noch wenig bekannten, neuen Transistortechnik auseinandersetzten. Bis zu seiner Pensionierung hat Professor Guggenbühl die Elektronik-Entwicklung inner- und ausserhalb des stetig wachsenden Elektronik-Institutes massgeblich beeinflusst. Seine Abschiedsvorlesung wollte Professor Guggenbühl – typisch für ihn – nicht nur an Fachspezialisten, sondern an ein weiteres interessiertes Publikum richten. Uns scheint, dieser Rückblick eines Beteiligten wird vielen unter unseren Lesern eine Freude bereiten. Die Kollegen, Freunde, Schüler und Mitarbeiter werden Professor Walter Guggenbühl nicht nur als hervorragenden Forscher und Pädagogen, sondern ebenso als korrekten und freundlichen Menschen in Erinnerung behalten. *Bau*

Dieser Beitrag entspricht dem Inhalt der Abschiedsvorlesung, die der Autor am 1.2.1994 im Auditorium Maximum der ETH Zürich gehalten hat.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. *Walter Guggenbühl*,
Glärnischstrasse 46, 8712 Stäfa.

Objekte		Beispiele
Systeme	Software	Telefonnetz, GPS
Geräte		Radio, TV, CD, PC etc.
Module (Funktionsgruppen)		Mikroprozessor, Konverter etc.
Schaltungen (Funktionen)		Verstärker, Zähler etc.
Komponenten		gesteuerte Schalter, (gesteuerte) Ventile, Widerstände etc.

Bild 1 Zum Begriff Elektronik

Als Repräsentanten der vielfältigen elektronischen Komponenten erscheinen im folgenden einfache Ventile (Dioden) und solche, deren Stromfluss mittels einer elektrischen Grösse (Strom oder Spannung) leistungsarm beeinflussbar ist und die im Extremfall als gesteuerte Schalter betrieben werden können. Damit bleiben grosse Teile moderner Elektroniktechnologie, wie zum Beispiel Optoelektronik und Leistungselektronik, unberücksichtigt. Auch mit dem so beschränkten Sortiment lassen sich kombiniert mit passiven Elementen (Widerständen, Kondensatoren) eine grosse Vielfalt von Funktionen, zum Beispiel Verstärker, Zähler und ganze Computer, aufbauen.

Das Röhren-Zeitalter

Die zeitlichen Vorgaben zwingen mich, entgegen dem ursprünglichen Plan, die ersten 50 Jahre der Elektronikentwicklung nur punktuell auszuleuchten. Das Wort «Funk», eine Abkürzung für Rundfunk, im Titel soll auf den wesentlichsten Auslöser und frühen Anwender der mit Elektronik bezeichneten Technologie hinweisen. Tatsächlich ist eine erste Generation elektronischer Komponenten im Zusammenhang mit den Gehversuchen der drahtlosen Signalübertragung mittels elektromagnetischer Wellen entstanden. In dieser Startphase um die Jahrhundertwende bediente man sich zur Demonstration der Machbarkeit drahtloser Übertragung zunächst keineswegs elektronischer Mittel. Die Sender waren elektrische Funkenstrecken oder Lichtbogen; als Empfänger dienten meistens sogenannte Kohärer, das waren mit Eisenspänen gefüllte Glasröhren, deren Widerstand durch die Hochfrequenzfelder moduliert werden konnte. Das 1904 angemeldete Flemingsche Patent der Röhrendiode, das oft als Geburtsstunde des Elektronikzeitalters bezeichnet wird, bedeutete einen wesentlichen Fortschritt der Empfängertechnik, indem es die Detektion durch Gleichrichtung der Hochfrequenzströme auf der Basis der Elektronenemission in ein evakuiertes Gefäss, das heisst mittels eines physikalisch klar definierten und reproduzierbaren Prozesses, löste (Bild 2). Die Elektronenemission aus einem glühenden Draht hatten Edison und Braun bereits vor dem Engländer Fleming beobachtet und angewendet; von Fleming stammt lediglich die Idee der Anordnung als schnelles Stromventil.

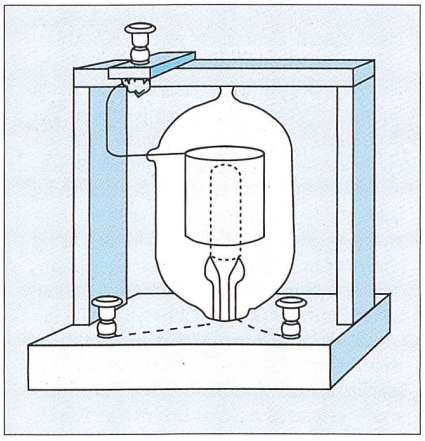


Bild 2 Skizze eines frühen experimentellen Gleichrichters

Aus der glühenden Kathode werden Elektronen emittiert und von der konzentrischen Anode aufgefangen.

Es ist im Hinblick auf die spätere Entwicklung interessant, dass in dieser Frühzeit zur Gleichrichtung von Radiowellen als Alternative zur Röhrendiode auch auf Kristalle aufgesetzte Metallspitzen verwendet wurden. Pickard rapportiert über entsprechende Untersuchungen an 250 Kombinationen von Metall und Kristallen in dieser Frühzeit, ein Hinweis auf den rein empirischen Stand dieser ersten Ansätze in Richtung von Festkörperkomponenten. Man weiss aus Messungen an historischen Exemplaren solcher Spitzengleichrichter, dass diese bessere Ventilcharakteristiken aufwiesen als die Röhrendioden, allerdings unter der Voraussetzung, dass ein stabil gleichrichtender Aufsetzpunkt auf dem Kristall gefunden werden konnte. Bild 3a zeigt eine spätere (modernere) Experimentierform dieses Kristalldetektors, Bild 3b das zugehörige Schema eines entsprechenden Radioempfängers.

Der definitive Entscheid zugunsten der Röhrentechnik fiel, als der Amerikaner Lee de Forest 1906 seine Erfindung der Elektronenstromsteuerung mit Hilfe eines zwischen der Emissionselektrode (Kathode) und der Auffangelektrode (Anode) eingefügten Gitters zum Patent anmeldete. Durch die Spannung auf dem Gitter war eine fast leistungslose Steuerung des Anodenstroms dieser nun als Triode bezeichneten Anordnung möglich. Musste bisher die gesamte notwendige Energie zur Auswertung der empfangenen Signale, zum Beispiel in einem Kopfhörer gemäss Bild 3b, direkt dem empfangenen Hochfrequenzsignal entnommen werden, war nun in der Triode eine lokale Energiezufuhr zum Signal am Empfangsort, das heisst Verstärkung der schwachen Empfangssignale, möglich. Mit Hilfe des sogenannten Rückkopplungsprinzips konnten mit solchen Verstärkern ausserdem oszillierende Ströme mit vorausbestimmbaren Schwingungszahlen erzeugt und damit die Funken- und Lichtbogensender durch elektronische Komponenten ersetzt werden.

Die Elektronenröhre begann damit ihren Siegeszug als Basiskomponente des sich anbahnenden Rundfunkzeitalters. Durch den Einbau von bis zu sechs Gittern in den evakuierten Steuerraum konnte mit den Jahren die Funktionalität der Vakuumröhre wesentlich erweitert werden.

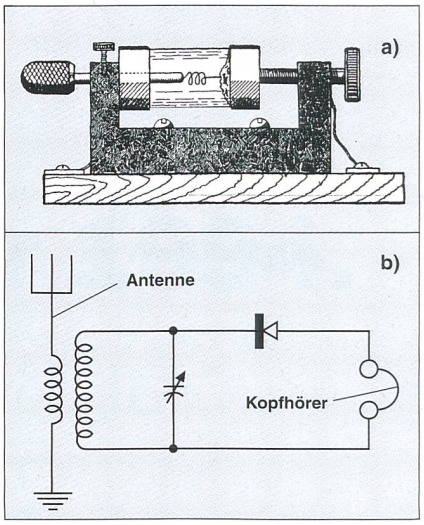


Bild 3 Kristallgleichrichter der 1930er Jahre

a. Mittels einer versetzbaren Metallspitze wird ein gleichrichtender Aufsetzpunkt auf dem Bleiglanzkristall gesucht.

b. Schaltschema eines «passiven» Radioempfängers mit Kristallgleichrichter.

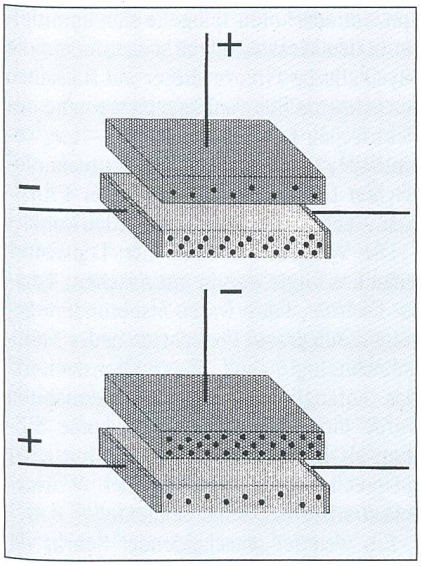


Bild 4 Kapazitiv gesteuerte Kondensatorplatte als leistungsarm steuerbarer Widerstand (Verstärker), O. Heil 1935

Die Kugeln bedeuten Ladungsträger.

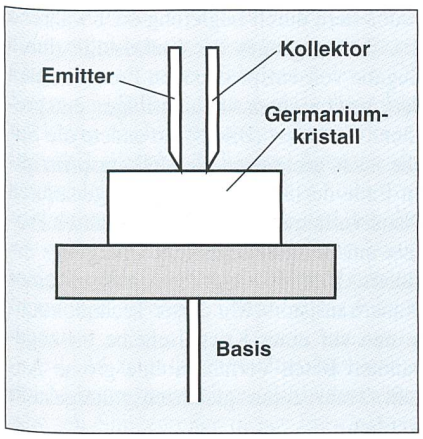


Bild 5 Aufbau des Spitzentransistors (1948)

Neben der Radiotechnik profitierte zunehmend auch die Telefonie von der röhrenbasierten Verstärkertechnologie. Die Übertragungsdistanzen von drahtlos oder über Kabel übertragenen Telefongesprächen konnten nun fast beliebig vergrössert werden. Im Zeitpunkt meines Studiums an der ETH in der zweiten Hälfte der 40er Jahre war eine ausgereifte Röhrentechnologie mit der zugehörigen Schaltungstechnik etabliert, eingesetzt vor allem in der Radiotechnik und der Weitverkehrstelefonie. Die militärischen Entwicklungen im zweiten Weltkrieg hatten zudem eine grosse Erweiterung des technisch nutzbaren Frequenzbereichs, vor allem in Richtung vermessungs- und navigationstechnischer Anwendungen (Radar), gebracht. Unter dem Begriff «industrielle Elektronik» gab es einige Anwendungen in der Steuerungstechnik mechanischer Anlagen; Zuverlässigkeitsprobleme, insbesondere der Verschleiss der glühenden Kathode von Elektronenröhren, behinderten jedoch den breiten Einsatz ausserhalb der nachrichtentechnischen Industrie.

An Vorschlägen für Festkörperverstärker, das heisst einer elektronischen Basiskomponente ohne die verschleissbehaftete Elektronenemission ins Vakuum, hatte es seit Beginn der Elektronikaktivitäten nicht gefehlt; sie scheiterten alle am fehlenden physikalischen Verständnis der Ladungstransportvorgänge in Festkörpern, insbesondere Halbleitern. Als Beispiel eines frühen Festkörperverstärkers sei der Vorschlag von O. Heil aus dem Jahr 1935 erwähnt. Seine Verstärkeranordnung bestand aus einem Kondensator, dessen eine Platte gemäss Bild 4 in «Längsrichtung» als Leiter benützt wird. Variiert man die Spannung zwischen den Platten, so verändert man gemäss den Gesetzen der Elektrostatik die Zahl der Ladungsträger in der leitenden Platte. Nach numerischer Abschätzung müsste dabei in einer dünnen halbleitenden Platte eine für Verstärkung nutzbare Leitfähigkeitsmodulation entstehen. Man bezweifelt, ob Heil dieses Phänomen je experimentell beobachten konnte; jedenfalls entstanden in der Folge keine nach diesem Feldeffektprinzip arbeitenden Verstärkerelemente. Man kennt heute die Gründe für diesen Fehlschlag; sie liegen hauptsächlich in der Oberflächenstruktur der damals herstellbaren Halbleiterschichten.

Die Halbleiter-Revolution

Angesichts des Siegeszuges der Elektronenröhre wurde zunächst in die Weiterentwicklung der Spitzengleichrichter nur wenig investiert. Das Interesse an dieser Komponente zur Gleichrichtung hochfrequenter Ströme stieg jedoch im Verlauf des zweiten Weltkriegs, als Mikrowellendetektoren für Radaranwendungen benötigt wurden. Fortschritte in der Materialtechnologie, insbesondere in der Herstellung von Germanium- und Siliziumkristallen, führten dabei zu verbesserten und praktisch brauchbaren Kristallgleichrichtern. Die dem Gleichrichtereffekt zugrundeliegenden physikalischen Vorgänge blieben jedoch weiterhin nicht restlos aufgeklärt.

Das Interesse an der Weiterentwicklung dieser Technologie erlahmte nach dem Krieg vielerorts wieder. Eine der Ausnahmen bildeten die Bell Laboratorien in New Jersey, wo seit 1936 ein Auftrag, in Richtung eines Festkörperverstärkers/Schalters zu forschen, bestand. Angesichts der Bedeutung eines solchen Elements als Ersatz für die unzähligen mechanischen Schalter der zukünftigen Telefonvermittlungszentralen war in der Folge eine Forschungsgruppe mit wechselnder Intensität mit diesem Problem beschäftigt. Erst Ende 1947 gelang der Durchbruch in Richtung eines brauchbaren Festkörperverstärkers. Die Physiker Bardeen und Brattain untersuchten in dieser Zeit das Oberflächenpotential in der unmittelbaren Umgebung einer leitenden Drahtspitze auf einem Germaniumkristall, das heisst an einem Kristallgleichrichter, mittels einer als Messsonde eingesetzten zweiten Spitze. Entgegen den Erwartungen floss Strom durch diese Messsonde auch dann, wenn sie in Sperrichtung vorgespannt war, nach klassischer Vorstellung der Kristallgleichrichtung also nichtleitend sein sollte. Da dabei den Ladungsträgern Energie zugeführt wird, kann ein dem Gleichrichterstrom überlagertes Signal verstärkt werden. Es ist zu beachten, dass der Effekt nur auftritt, wenn die beiden Spitzen genügend nahe beieinander liegen. Dieser sogenannte Trans-Resistor wurde in der Folge Transistor genannt (Bild 5). Es ist

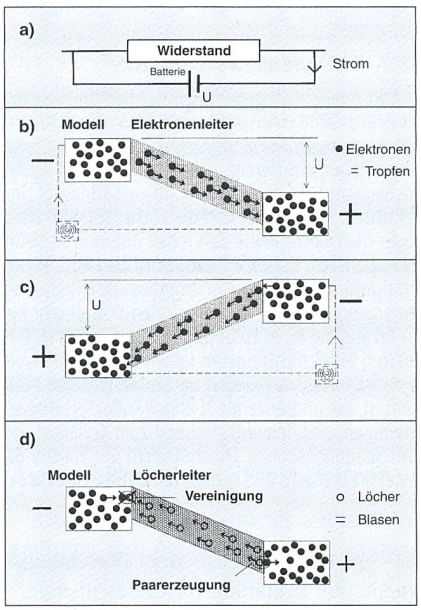


Bild 6 Elektrische Leitung in Halbleiterkristallen

Der Stromtransport in halbleitenden Widerständen erfolgt mittels Ladungsträgern, die bei angelegter elektrischer Spannung bewegt werden (a). Im Fall eines N-Halbleiters sind dies wie bei Metallen Elektronen. Demgegenüber wird der Ladungstransport in P-Halbleitern mittels sogenannter Löcher (unbesetzte Elektronenplätze im Kristallgitter) beschrieben, die sich auf Grund der Mobilität der sie umgebenden Elektronen beim Anlegen elektrischer Felder verschieben. Im mechanischen Analogmodell sind die Elektronen im N-Halbleiter (b, c) als sich im Schwerefeld bewegende Kugeln dargestellt, während die Löcher im P-Halbleiter (d) (als Blasen in Elektronenflüssigkeit modelliert) im Schwerefeld aufsteigen. Die Höhenunterschiede im Modell entsprechen elektrischen Potentialdifferenzen. Zum Stromtransport durch einen P-Halbleiter (d) mit metallischen (elektronenleitenden) Anschlüssen muss an den Kontaktstellen Elektron-Loch-Paarerzeugung bzw. paarweise Vereinigung stattfinden. Typus und Grösse der Trägerkonzentration bzw. der Leitfähigkeit von Halbleitern können durch dosiertes Einlagern von Fremdatomen ins Kristallgitter eingestellt werden.

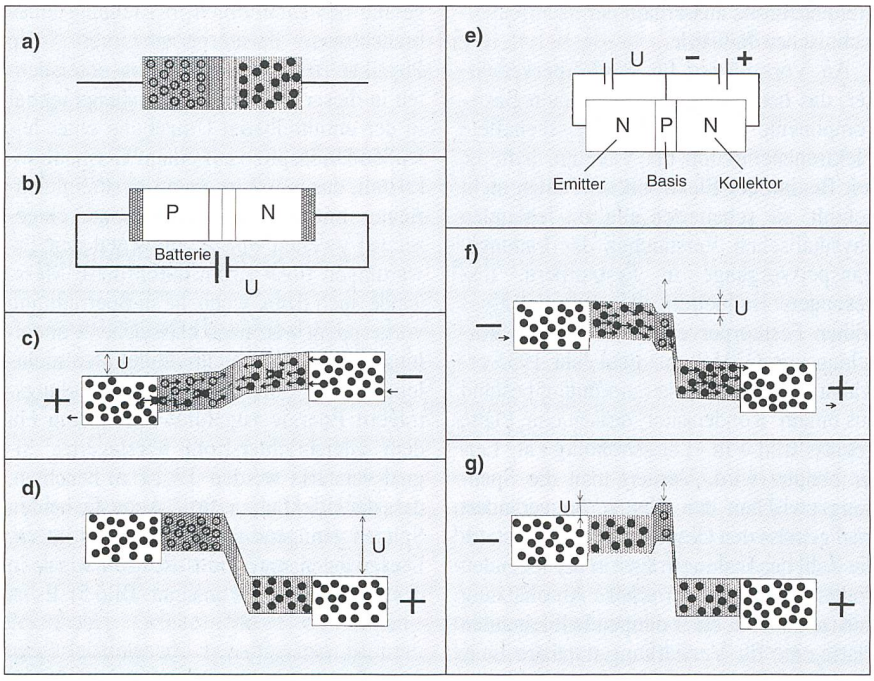


Bild 7 P-N-Diode und N-P-N-Transistor

Stossen zwei Zonen gegensätzlicher Leitfähigkeit in einem Halbleiterkristall aneinander (a), so entsteht an der Grenzfläche eine sogenannte Sperrschicht, die nahezu frei von beweglichen Ladungsträgern ist. Sie bildet sich durch Abwanderung von Trägern ins jeweilige Nachbargebiet. Die dabei entstehende kleine, innere Potentialdifferenz zwischen der P- und der N-Zone, die diese Trägerverschiebung begrenzt, ist im mechanischen Analogmodell (c, d) vernachlässigt. Im Flussbetrieb der P-N-Diode (c) ergiessen sich die Elektronen ins P-Gebiet und die Löcher (Blasen) steigen ins N-Gebiet auf, wo sie als sogenannte Minoritätsträger über beschränkte Zeit leben und sukzessive mit den Partnerladungen (den Majoritätsträgern) rekombinieren. Dieser Vorgang wird als Minoritätsträgerinjektion bezeichnet. Im Fall umgekehrter Polarisierung (d) kann kein Stromfluss stattfinden, da die dazu an der P-N-Grenze nötige Elektron-Loch-Paarerzeugung in einem fehlerfreien Kristall sehr klein ist. Der P-N-Kontakt arbeitet somit als Stromventil. Zur Erzeugung eines steuerbaren Stromventils (N-P-N-Transistor, Bild e) legt man in Serie zu einer sperrpolarisierten P-N-Schichtfolge im selben Kristall eine weitere N-Zone (Emitter). Die Mehrzahl der im Flussbetrieb (f) vom Emitter ins P-Gebiet injizierten Elektronen (Minoritätsträger) können, falls die P-Schicht genügend dünn ist, die angrenzende N-Zone (Kollektor) erreichen, ohne sich mit den Löchern im P-Gebiet zu vereinigen, und dementsprechend zum Kollektor abfliessen. Dabei gewinnen sie Energie aus der Kollektor-Basis-Spannungsquelle. Durch Ändern der Emitter-Basis-Spannung kann der von E zu C fliessende Strom gesteuert werden. Bild g zeigt die entsprechende Extremsituation des Stromunterbruchs.

das grosse Verdienst der Forschungsgruppe, die Erklärung für dieses unerwartete Verhalten in der Form der sogenannten «Minoritätsträgerinjektion» in Halbleiterkristallen, die auf der Existenz zweier Leitungstypen in Halbleiterkristallen beruht (Bild 6), gefunden zu haben. Bild 7 erläutert den Begriff der Minoritätsträgerinjektion anhand des Gleichrichtereffektes in einem P-N-geschichteten Kristall sowie deren Anwendung in dem durch W. Shockly bald nach dem Spitzentransistor-Experiment vorgeschlagenen Transistor der 2. Generation, dem sogenannten Flächentransistor.

Die Geschichte der Transistorerfindung ist ein typisches Beispiel dafür, wie neue Erkenntnisse oft durch experimentelle Untersuchungen angestossen werden. Anderseits war aber auch über Jahre akkumuliertes Wissen eines physikalisch-materialtechnisch orientierten Labors notwendig, um die Beobachtungen zu deuten und schliesslich die Bemühungen um einen Festkörperverstärker zum Erfolg zu führen. Die Erfindung des Spitzentransistors warf zunächst in der Öffentlichkeit keine grossen Wellen; die «New York Times» widmete ihr einige Zeilen auf der zweitletzten Seite; ein «Letter» in den «Physical Reviews» erschien ein halbes Jahr später. Es wurde eine bescheidene Produktion aufgenommen, aus der wir auch am elektrotechnischen Institut der ETH einige Exemplare zu Experimentierzwecken erhielten.

Ich war in der Folge froh, für meine an diesem Institut durchgeführte Dissertation über das «Rauschen von Halbleiterdioden und Transistoren» schon bald industriell hergestellte Transistoren der 2. Generation, d. h. Flächentransistoren, zu erhalten. Bei diesen erfolgt, wie in Bild 7 gezeigt, die Minoritätsträgerinjektion im Innern des geschichteten Kristalls, und die damals immer noch schwer beherrschbaren Vorgänge an den Kristalloberflächen spielten bei diesen Transistortypen keine dominante Rolle mehr. Die Verbesserung gegenüber den Spitzentransistoren spiegelte sich unmittelbar in den Messresultaten wider, indem die physikalische Grenze dieser als Rauschen bezeichneten Schwankungsphänomene des elektrischen Ladungstransportes – ein wesentliches Indiz für die Güte der technologischen Umsetzung physikalischer Prinzipien – bereits 1954 erreicht werden konnte.

Die Weiterentwicklung der Transistortechnik erfolgte nun in stürmischem Tempo. Die 50er Jahre waren insbesondere geprägt durch grosse Fortschritte in der Materialtechnologie und Fabrikationstechnik. Das anfänglich verwendete Germanium wurde durch das höherschmelzende Silizium als Basismaterial abgelöst, mit einer entsprechenden Steigerung der Wärmebelastbarkeit der Schaltelemente.

Ein weiterer entscheidender Schritt für die Entwicklung der modernen Elektronik gelang schliesslich Ende der 50er Jahre in der Herstellungstechnologie leitfähigkeitsmässig geschichteter Siliziumkristalle. Hatte man anfänglich die Leitfähigkeit von Halbleitern durch Legierung oder während des Ziehvorganges der Einkristalle durch Zugabe von entsprechenden Fremdatomen der gewünschten Schichtfolge entsprechend verändert (Bild 8), so endete die Suche nach geeigneten Herstellungsprinzipien Ende der 50er Jahre beim sogenannten Planarverfahren. In Bild 9 wird dieser Prozess am Beispiel eines P-N-Übergangs erläutert. Bild 10 zeigt den Aufbau eines Planartransistors. Mit dieser Technik konnte nun auf einer Kristallscheibe im sogenannten Batch-Verfahren eine grosse Anzahl Transistoren gleichzeitig hergestellt werden.

Durch die «planare» Transistorherstellung war ein weiterer entscheidender Schritt der modernen Elektronik geradezu vorgezeichnet. Anstatt die Halbleiterscheiben (Wafers) in einzelne Transistoren (Chips) zu zerbrechen und sie nachfolgend zu verpacken, können sie bereits auf dem Wafer mittels photolithographisch strukturierten Metallisierungsschichten zu Schal-

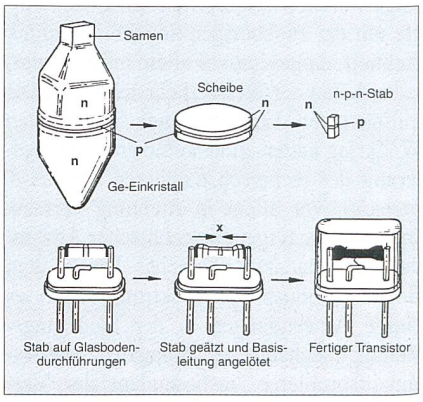


Bild 8 Gezogener Ge-Schichtkristall und gezogener Transistor (1954)

tungen verbunden und erst diese in sogenannte Chips zerbrochen und verpackt werden (Bild 11). Auf dem so vorgezeichneten Weg zur integrierten Schaltung waren noch einige zusätzliche Probleme zu lösen, nämlich die gegenseitige elektrische Isolation der Transistoren auf dem Wafer sowie die Entwicklung passiver Komponenten (Widerstände und Kondensatoren), die herstellungstechnisch mit den Transistoren kompatibel sind. Diese Aufgabe wurde um 1960 erfolgreich gelöst, und damit war die bipolare integrierte Schaltung geboren (Bild 12).

In der Folge begann eine geradezu explosive Entwicklung der Komplexität der so auf einem Chip realisierbaren elektronischen Schaltungen. Bild 13 illustriert diese Komplexitätssteigerung anhand der Komponentenzahl pro Schaltungschip von Speicher- und Mikroprozessorschaltungen. Die noch immer andauernde Verdoppelung der Anzahl Komponenten pro Chip und pro 1,4 Jahre war vor allem ein Ergebnis immer feiner abbildbarer Linienbreiten, der Flächenvergrösserung fehlerfrei herstellbarer Chips sowie neuer Schaltungsideen. Die Kurven in Bild 13 zeigen, dass diese Entwicklung noch keineswegs abgeschlossen ist, weil die physikalischen Grenzen der zugrundeliegenden Abbildungs- und Ätzverfahren noch nicht erreicht sind. Ob diese, die wachsenden Herstellungskosten oder der Markt schliesslich das Wachstum begrenzen werden, wird die Zukunft zeigen.

Bild 14 zeigt die Foto eines bereits älteren Mikroprozessorchips, Bild 15 den derzeitigen Spitzenreiter dieser Entwicklung, den Prototyp eines Chips mit 64 Millionen in willkürlicher Reihenfolge adressierbaren binären Speicherzellen. Die mit diesem erreichbare Speicherkapazität entspricht etwa 4000 Buchseiten Text. Um diese nur mehr schwer vorstellbare Komplexität zu veranschaulichen, kann man einen Vergleich mit einer Landkarte anstellen, indem man die Abmessungen des Chips um den Faktor 10^6 (eine Million mal) vergrössert. Die Chipfläche entspricht dann ungefähr dem Blatt «Zürich» der Landeskarte 1:25000. Jede der Speicherzellen beansprucht darin eine Fläche von etwa 3 m^2, und die lineare Abmessung der kleinsten abgebildeten Details beträgt 35 cm. Dies würde einer Detailzeichnung eines vollständig mit Wohnungen überstellten Gebiets entsprechen, die sämtliche darin aufgestellten Möbel umfasst. Ausserdem wäre diese Anordnung mehrstöckig, was den für die Herstellung des entsprechenden IC benötigten mehreren Maskenzeichnungen entspricht. Der Vollständigkeit halber sei noch präzisiert, dass die beschriebenen extremen Baudichten nicht mit der in Bild 7 gezeigten Bipolartechnologie, sondern mit einer modernen Form des anhand Bild 4 erklärten Feldeffekttransistors, dem sogenannten MOS-Transistor (Metal Oxide Semiconductor), als Schalter eingesetzt, erreicht werden.

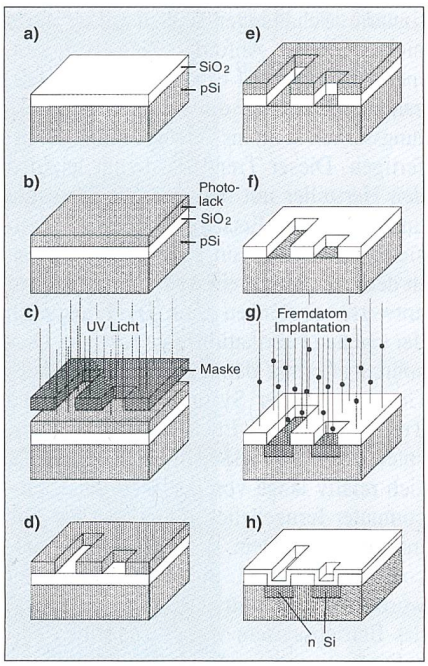


Bild 9 «Planares» Herstellungsverfahren von P-N Übergängen

Das Planarverfahren zur Herstellung leitfähigkeitsgeschichteter einkristalliner Siliziumstrukturen startet mit Siliziumscheiben vorbestimmter Leitfähigkeit (a), z. B. P-Leitung, und einer oberflächlichen Oxidschicht (SiO_2). Auf diese wird die Form der zu erzeugenden n-Schicht photographisch abgebildet (b, c, d) und ein entsprechendes Muster durch Ätzen auf die Oxidschicht übertragen (e, f). Durch die so geöffneten Fenster in der glasartigen Oberflächenschicht werden die leitfähigkeitsbestimmenden Fremdatome in die Kristallscheibe eingeschossen (g) oder eindiffundiert; durch nachfolgende Oxidation werden die Fenster wieder geschlossen (h). Durch wiederholte Anwendung dieser photolithographischen Schritte können Mehrfachschichtstrukturen erzeugt werden. Die metallischen Anschlüsse werden als Al-Schicht aufgedampft und ausgeätzt. Das Planarverfahren ermöglicht die gleichzeitige Herstellung vieler Komponenten.

Eine Verkleinerung der Schaltungsdimensionen in diesem Ausmass wäre wirtschaftlich nicht erfolgreich, wenn damit nicht eine Kostenreduktion pro elektronische Funktion einhergehen würde. In Bild 13 ist die mit steigender Miniaturisierung resultierende Kostenreduktion pro elektronische Funktionseinheit für den Fall der Speicherzelle dargestellt. Grund für diese fast ideale Preisentwicklung hochintegrierter Schaltungen sind ihre bei Grossserieproduktion weitgehend von der beanspruchten Siliziumfläche abhängigen Herstellungskosten. Eine weitere, bisher nicht erwähnte vorteilhafte Eigenschaft integrierter Schaltungen ist die mit der Miniaturisierung parallel einhergehende Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit und der Zuverlässigkeit. Bild 16 illustriert nochmals die Einmaligkeit dieser Entwicklung im Vergleich zu andern technischen Objekten sowie zum Wachstum der Weltbevölkerung. Dabei ist beim Komplexitätswachstum pro Chip die damit einhergehende Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit nicht berücksichtigt.

Zum Erfolg dieser Technologie trug ausserdem das einmalige Zusammentreffen weiterer günstiger Voraussetzungen im wissenschaftlichen und anwendungsorientierten Umfeld wesentlich bei:

– Das Basismaterial Silizium ist ein Glücksfall der Natur; es bietet dem Mikroelektroniker günstige Materialeigenschaften in einer aussergewöhnlichen Häufung an.

– Fast zeitgleich mit der Erfindung des Transistors wurden in der elektronischen Systemtechnik zahlreiche neue Ideen geboren, wie zum Beispiel die Digitaltechnik, die Informationstheorie sowie das Neumannsche Konzept des Universalrechners als Basis der heutigen Computertechnik. Transistoren und integrierte Schaltungen waren nahezu ideale Bausteine für die praktische Umsetzung dieser Ideen.

– Schliesslich hat auch der im Amerika der 50er und 60er Jahre vorhandene technische Pioniergeist – man erinnere sich an das Programm «A man on the moon» – dem Start der anfänglich teuren Mikroelektronik wesentlich geholfen.

Auswirkungen und Perspektiven

Die geschilderten Entwicklungen hatten natürlich auf Ausbildung und Forschung sowie auf unser im wesentlichen anwen-

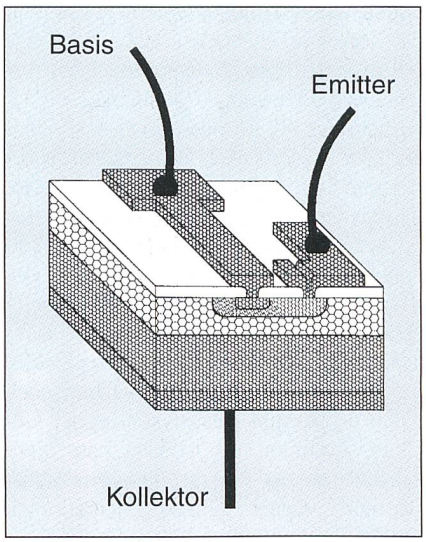


Bild 10 Planartransistor

Die N-P-N-Struktur entsteht vertikal zur Oberfläche.

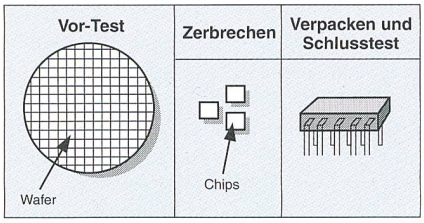


Bild 11 Batch-Herstellung von integrierten Schaltungen

dungsorientiertes industrielles Umfeld einen nachhaltigen Einfluss. In meinem engeren Fachgebiet, dem Entwurf elektronischer Schaltungen, konnten zunächst viele Grundlagen des Aufbaus von Schaltungen (Theorie der Netzwerke) und deren Funktionsweise von den Elektronenröhren auf Transistoren und später auf integrierte Schaltungen übertragen werden. Sehr bald kamen jedoch neue halbleiterspezifische Konzepte, insbesondere in der Digitaltechnik, hinzu. Mit zunehmender Integrationsdichte wurden schliesslich ganze Funktionsmodule durch einen einzigen Chip ersetzt; deren Optimierung wanderte dabei in den Aufgabenbereich des Schaltungstechnikers. So wurde ich bei Antritt meiner Professur unmittelbar mit der Einführung der damals neuen Mikroprozessoren und dem Aufbau eines entsprechenden Unterrichts konfrontiert. Diese weit über die Rechneranwendung hinaus universell einsetzbaren Digitalchips zogen natürlich auch die entsprechenden Programmiertechniken und damit den Aufbau einer entsprechenden Softwareaktivität im Institut nach sich.

Zurück zu den Auswirkungen auf Schaltungs- und Systementwurf. Ein wesentlicher Schritt ist hier, nach Vorgabe der technischen Eigenschaften, die Auswahl unter verschiedenen Schaltungsvarianten auf Grund einer Kostenoptimierung. Im Fall der herkömmlichen klassischen Bauweise mit diskreten Einzelkomponenten rangierten diese Elemente kostenmässig in der Reihenfolge Röhre oder Transistor, Kondensator, Widerstand. Demgegenüber bestimmte nun aber nach der Einführung der integrierten Schaltungen im wesentlichen die beanspruchte Siliziumfläche die Schaltungskosten. Die Transistoren waren nun aus dieser Sicht die bevorzugten Bauelemente, gefolgt von Widerständen und Kondensatoren. Bei kleinen integrierten Schaltungen wird der Preis sogar oft nur noch durch die Anzahl Anschlussstifte des Gehäuses bestimmt. Es ist klar, dass diese gänzlich neuen Randbedingungen selbst bei noch immer gültigen theoretischen Grundlagen zu andern Konzepten führten als in der klassischen Schaltungstechnik. Nach rein technischen Gesichtspunkten optimierte Schaltungen lassen sich, wenn nicht spezielle Anforderungen vorliegen, meist nur noch bei extrem grossen Stückzahlen, bei denen die initialen Entwicklungskosten nicht ins Gewicht fallen, rechtfertigen. Dieser Trend bevorzugt letztlich den Hersteller mit der grössten Stückzahl und fördert die Entstehung eines spezialisierten IC-Markts auf der Funktionsebene, in dem sich fortan ein routinierter Systementwerfer auskennen muss. Die Frage nach der eigenen Fabrikationstiefe bzw. des Outsourcings erhält damit ein entscheidendes Gewicht bei der Systemrealisierung. Die Tragweite solcher Entscheide sei am Beispiel der Firma IBM illustriert. IBM hat sich relativ lange von der Welt der Kleincomputer ferngehalten. Es gelang der Firma dann, trotzdem noch einen Personalcomputer-Standard zu etablieren; dazu wurde aber der zentrale Computerchip wie das Betriebssystem von Fremdfirmen eingekauft mit entsprechenden Konsequenzen für die Konkurrenzsituation auf diesem Multimilliardenmarkt.

Geändert hat sich mit der Miniaturisierung auch die Arbeitsweise des Elektronikpraktikers; der Lötkolben wurde in weiten Bereichen durch Simulationen auf dem Computer ersetzt.

Bild 17 illustriert einen weiteren Wandel im Umfeld des in der Industrie tätigen Elektronikers. War der Elektronikmarkt anfänglich eindeutig technologiegetrieben, so übersteigen heute die technischen Möglichkeiten in vielen Bereichen die unmittelbaren Marktbedürfnisse und wachsen in grossem Tempo weiter. Je nach Veranlagung wird dieser Wandel vom jungen Entwicklungsingenieur als «Frust» empfunden, nämlich dann, wenn er feststellen muss, dass seine mühsam erarbeiteten tech-

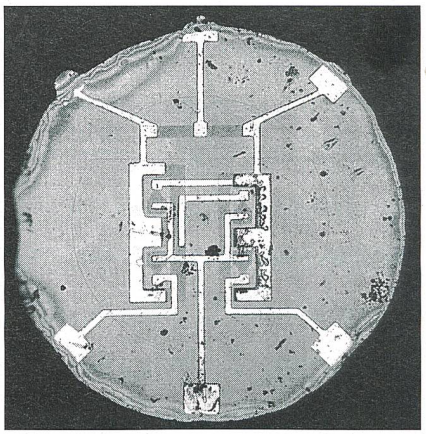


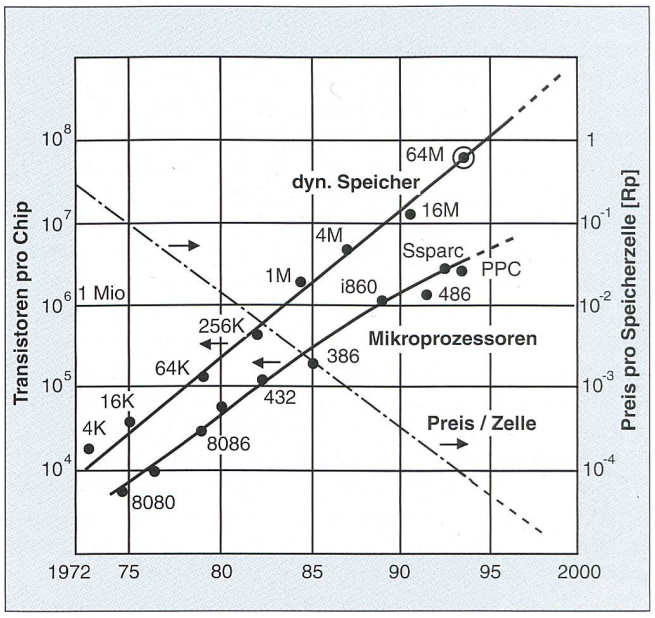
Bild 12 Chip-Photo der ersten kommerziell erhältlichen integrierten Schaltung

RTL-Flip-Flop, bestehend aus 4 Bipolartransistoren und 2 Widerständen (Fairchild 1961).

nischen Kenntnisse bei der Suche nach neuen Produkten gegenüber Marktüberlegungen nur noch eine nebensächliche Rolle spielen. Für unternehmerisch veranlagte, risikofreudige junge Ingenieure bedeutet diese Situation demgegenüber oft eine Herausforderung, in eigener Verantwortung neue Produkte zu realisieren. Eine ganze Reihe kleinerer Unternehmer haben diese Chance ergriffen und entsprechende Produktenischen gefunden. Die Schwierigkeit einer entsprechenden Finanzierung ist jedoch nicht zu übersehen. Das Schlagwort «Innovation» fehlt zwar in keinem Referat über unsere wirtschaftliche Zukunft; der dazu notwendigen Risikofreudigkeit und der Frage des Risikokapitals werden meist viel weniger oder keine Worte gewidmet.

Eine fast zwangsläufige Folge der enormen Eigendynamik der Elektroniktechnologie ist die extreme Verkürzung der Produkteerneuerungszyklen. Angesichts des

Bild 13 Komplexitäts- und Kostenentwicklung von Mikroprozessoren und Speichern



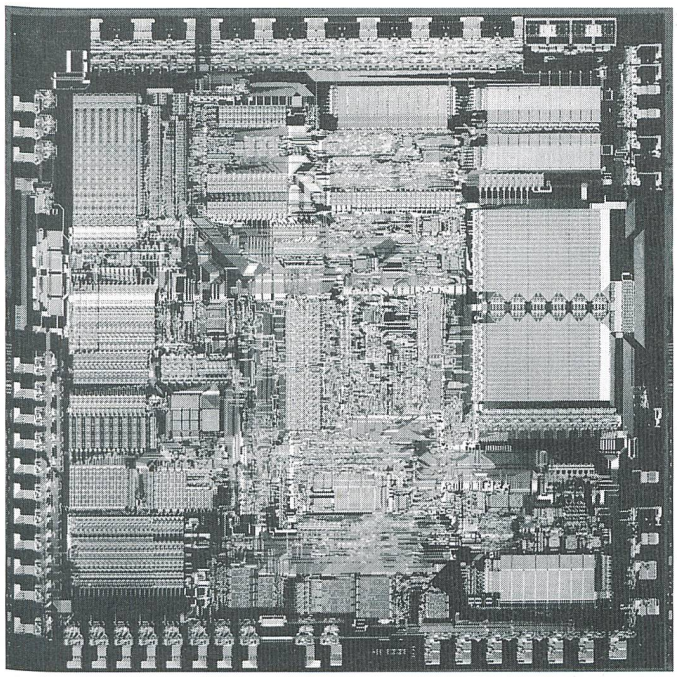


Bild 14 Chip-Photo des 16-Bit-Mikroprozessors 80286
Photo Siemens

in Bild 13 gezeigten Preiszerfalls der elektronischen Elementarfunktionen können auf neuerer Technologie basierende Produkte selbst bei erhöhter Leistungsfähigkeit meist billiger hergestellt werden als die Vorläufergenerationen. Bild 18 illustriert dieses Problem anhand der Halbleiterspeicherbausteine, das heisst einer der die Entwicklung wesentlich antreibenden Basiskomponente der Elektronik. Die erwähnte, im Bild 13 gezeigte Kurve über den Preiszerfall der im Rahmen höchstintegrierter Schaltungen fabrizierten Speicherzellen ist in Wahrheit die Umhüllende an die Kostenverläufe der in den einzelnen Zeitperioden gerade technologisch-wirtschaftlich optimalen Chipgenerationen (Bild 18). Kaum ist jeweils die Talsohle der entsprechenden Lernkurve erreicht, so ist der betreffende Chip durch die nächste, höherintegrierte Technologiegeneration überholt. Angesichts der in diesen Ablösungsperioden jeweils nötigen, gewaltigen Investitionen versteht man die unaufhaltbare Konzentration dieser Basistechnologie auf immer weniger Hersteller.

Aus der Sicht der Anwender ist klar, dass solche Ablöseraten in krassem Gegensatz zu den in der Vergangenheit üblichen Erneuerungsraten grösserer elektronischer Systeme stehen. Als Beispiel diene das schweizerische Telefonnetz. Die PTT sind noch immer dabei, die letzten Exemplare der alten, auf Elektromechanik basierenden und mehrere Jahrzehnte alten Vermittlungszentralen, deren Technologie ideenmässig noch aus dem Anfang dieses Jahrhunderts stammt, durch elektronische zu ersetzen. Progressive Nachrichtentechniker bedauern jedoch bereits heute die relativ niedrigen Datenraten der neuen ISDN-Anlagen, und international laufen grosse Entwicklungsanstrengungen in Richtung eines viel breitbandigeren Netzes.

Diese Dynamik macht insbesondere den etablierten Herstellern elektronischer Systeme mit einer traditionellen Produktepalette und grossen Unterhaltsverpflichtungen und der damit verbundenen inneren Trägheit zu schaffen. Die Schwierigkeiten, welche sich IBM durch ihr langes Verharren auf traditionellen Mainframe-Produkten einhandelte, sind als Beispiel dieses Problemkreises wohlbekannt.

Junge Unternehmen haben es demgegenüber leichter, bei diesem Tempo mitzuhalten. Weniger belastet durch die Vergangenheit, können sie unbesorgter im geeigneten Moment mit neuer Technologie in den Markt einsteigen. Für einige dieser Blitzstarter ergaben sich in diesem dynamischen Umfeld ungeahnte Entwicklungsmöglichkeiten, insbesondere auf dem PC- und dem Software-Gebiet. Der vielbewunderte Mitbegründer der Firma Microsoft, Bill Gates, ist ein Beispiel dieses Unternehmertyps. In der Hektik dieses Betriebes ist es allerdings unvermeidlich, dass auch unausgereifte Produkte an die Spitze des Weltmarkts gelangen, nur weil sie zur richtigen Zeit am richtigen Ort mehr oder weniger einsatzbereit waren und dann in grossen Stückzahlen verkauft und damit quasi unausrottbar wurden. Viele Softwarespezialisten sind sich zum Beispiel einig, dass das Quasi-Standard-Betriebssystem MS-DOS der PC-Welt einige Geburtsfehler aufweist, die man bei ruhigerer Gangart hätte vermeiden können. Ebenso könnte sich ein Computerbauer leicht eine elegantere Architektur vorstellen, als sie der den PCs zugrundeliegende Prozessor aufweist. Die Hektik dieses Markts lässt jedoch offenbar vielfach keine ausgereiften technischen Lösungen mehr zu.

Ein Ärgernis für den in ruhigeren Wassern grossgewordenen Techniker ist auch die Fehlerhäufigkeit eines grossen Teils der auf dem Markt angebotenen Computerprogramme und das damit verbundene Update-Wesen. Dieser in vielen Softwarebranchen herrschende Dauerzustand geht zweifellos zu einem Teil auf den enormen Zeitdruck im Kampf um Marktanteile zurück. Die Situation sei durch ein Statement von Ray Noorda, eines der führenden Computer-Software-Manager, illustriert. Er sagt: «There ist now way to be careful in this business. All you can do is to be aggressive, strong and give customers choices.»

Man kann sich fragen, ob die Bilanz, trotz fallender Preise, letztlich auch immer zugunsten des Käufers ausgeht. In den USA wurde in letzter Zeit einiges über das sogenannte Produktivitätsrätsel diskutiert und geschrieben. Damit ist die Frage gemeint, weshalb der Dienstleistungsbereich in den USA während der achtziger Jahre, trotz massiver Investitionen in die Informatikmittel, nur ein mittleres Produktivitätswachstum von 0,7% erreicht hat. Zweifellos ist die Ermittlung dieser Zahl schwierig, versteckt sich doch dahinter auch ein grosser Teil nicht erfasster Mehrleistungen und qualitativer Verbesserungen. Ich zweifle jedoch nicht daran, dass die extrem kurzen Ablösungsraten der Produkte, das spiralenhafte gegenseitige Hochtreiben der Komplexität von Hard- und Software und die damit verbundenen Aufwände für Installationen und Ausbildung einen wesentlichen Teil der möglichen Produktivitätsfortschritte weggefressen haben. Ebenso verführen die modernen Editierprogramme oft

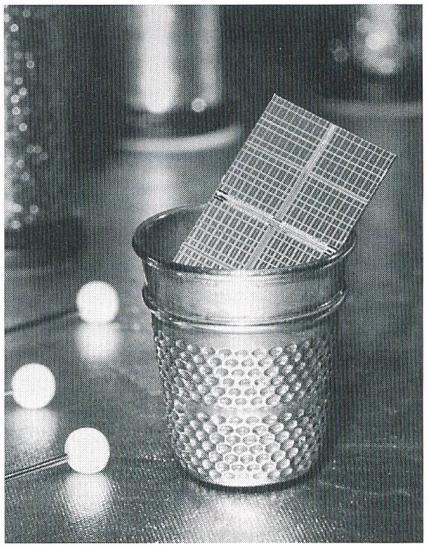


Bild 15 Dynamischer Speicherchip mit 64 Millionen Speicherzellen

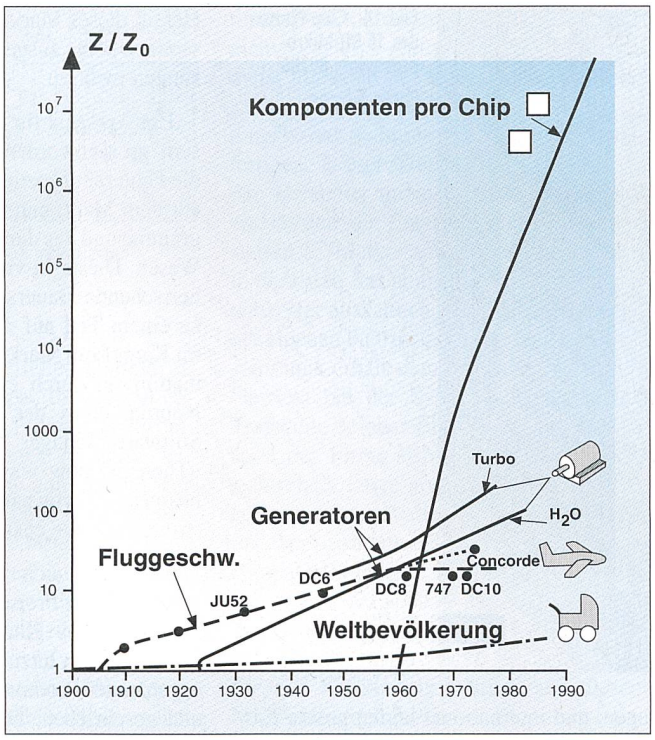


Bild 16 Komplexitätswachstum der Elektronik im Vergleich zu anderen technischen Objekten (Fluggeschwindigkeit und Generatoren) und zum Wachstum der Weltbevölkerung

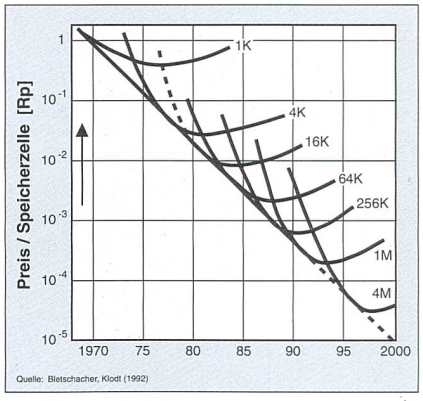


Bild 18 Kosten pro Bit verschiedener Speichergenerationen

zu einer aus der Sicht der Effizienz übertriebenen Perfektion des Erscheinungsbildes von Dokumenten und Berichten; das heisst der Form wird oft mehr Zeit gewidmet als dem Inhalt.

Ich möchte die ETH nicht mit dem Ruf eines Computer-Gegners verlassen; die vorangehenden kritischen Bemerkungen sind vielmehr als Reaktion auf gewisse Auswüchse in dieser Branche zu verstehen. Es braucht wohl nicht speziell erwähnt zu werden, dass die grossen Fortschritte der Elektronik ohne den fortwährenden Einsatz der neuesten Computergenerationen nicht denkbar wären und dass wir diese als Werkzeuge ebenfalls intensiv genutzt haben. Auch unser Institut hat zur Weiterentwicklung von Computerarchitekturen in der Form eines Spezialrechners mit Weltklasse-Spitzenleistungen für ausgewählte Anwendungen beigetragen.

Trotz der grossen und nach zuverlässigen Abschätzungen noch immer weitergehenden Leistungssteigerungen computerbasierter Systeme im Bereich der Datenverarbeitung und Kommunikationstechnik ist nicht zu übersehen, dass auf andern Gebieten, wie etwa jenen der Handschriften- und Spracherkennung oder der Bildinterpretation, computerbasierte Ansätze im Vergleich zum menschlichen Gehirn noch bescheidene Resultate erbringen. Die Suche nach grundsätzlich neuen Verfahren der Informationsverarbeitung reizt deshalb viele Forscher. Ein Ansatz dazu geht vom biologischen Vorbild aus; er sucht die informationsverarbeitenden Strukturen unseres Zentralnervensystems besser zu verstehen. Diesem Trend folgt die kürzlich beschlossene Gründung eines interdisziplinären Instituts für Neuroinformatik der Universität Zürich und der ETHZ, wo Neurophysiologen, Informatiker und Elektroniker solchen Fragen nachgehen sollen. Bereits heute werden in der Elektronik primitive Nachbildungen der biologischen Systeme in der Form sogenannter Neuronaler Netze für Mustererkennungsaufgaben erprobt und versuchsweise eingesetzt. Während für einige Fragen, zum Beispiel das Trainieren dieser Netze, bereits wissenschaftlich begründete Verfahren vorliegen, arbeitet man in vielen Bereichen weitgehend mit experimentellen und heuristischen Methoden. Diese Arbeitsweise ist bei vielen Vertretern der akademischen Welt verpönt; Fortschritte in der Elektronik gingen in der Vergangenheit jedoch sehr oft aus der Kombination von wissenschaftlichen Theorien und dem Experiment hervor. Meine Sympathie gilt deshalb der weiteren Erforschung solcher neuer Ansätze. Sie eröffnet einen Freiraum für neue Ideen, der in der modernen Computerwelt durch Konventionen, Normen und Protokolle immer mehr eingeschränkt wird und werden muss, um der überbordenden Komplexität Herr zu werden. Der Elektronik stehen also sowohl auf den bisher erfolgreichen wie auch auf neuen Gebieten weiterhin interessante und spannende Zeiten bevor.

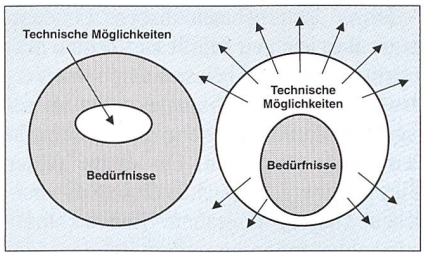


Bild 17 Von der technologiegetriebenen zur marktgetriebenen Elektronik

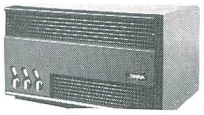
De la radio à la technologie-clé

Electronique dans notre siècle

Aucune autre science que le développement de l'électronique ne reflète aussi bien l'énorme progrès technique réalisé au cours de notre siècle. L'auteur, qui y a aussi concouru et marqué le développement de l'électronique de la Suisse, en donne un aperçu intéressant, au début duquel se trouve l'invention décisive du tube électronique et dont la fin ouverte laisse pressentir des paysages R&D largement ouverts, des paysages dans lesquels l'électronique n'a rien à envier à la complexité du cerveau humain.

ANSON liefert

mobile kleine Klimageräte
auf Rollen. Leise. 220 V, 840 W. Nur aufstellen: Sofort Kühle und Wohlbefinden in Büros, Wohn- und Schlafräumen. — Von:



ANSON-Aermec Klimageräte
in Läden, Büros, Labors für angenehme Kühle. Leise. Individuell regelbar. Energiesparende Rollkolben-Kompressoren. 220 V, nur 1260 W. Rasch montiert.
Beratung u. Offerte:

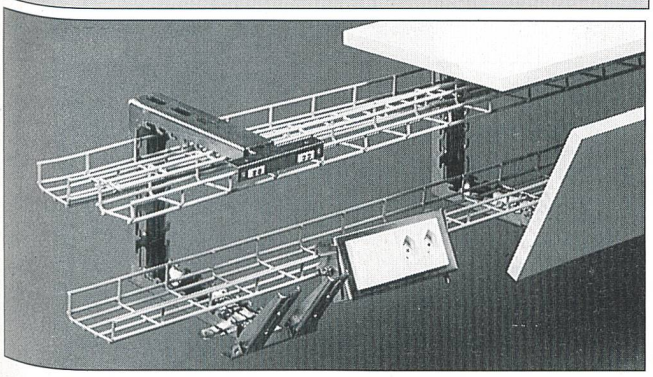
ANSON-„Split" sind superleise
Klimageräte für Büros, EDV, Läden, Labors, Wohn- und Schlafräume. Rasch montiert. 220 V. Ab 775 W. Für Ihr Wohlbefinden prompt und preisgünstig von:

K3k

ANSON AG 01/4611111
8055 Zürich
Friesenbergstr. 108
Fax 01/463 09 26

01/207 86 34
Direktwahl zu Ihrem Zielpublikum.

Elektroingenieure ETH/HTL
Leser des Bulletin SEV/VSE
mit Einkaufsentscheiden



NOUVEAU Canaux d'allèges LANZ

Les nouveaux canaux d'allèges astucieux de LANZ (brev. dép.) aux multiples avantages:
- différentes dimensions dès 150×200 mm.
- Prises de courant invisibles à l'intérieur
- problèmes d'accessibilité et de séparation parfaitement résolus
- revêtement avec le matériel de votre choix, pour un design parfait

Constatez par vous-même combien la planification et l'installation avec les canaux d'allèges LANZ sont meilleures et plus simples. Téléphonez-nous:
lanz oensingen 062/78 21 21 fax 062/76 31 79

☐ Les **canaux d'allèges de LANZ** m'intéressent.
Veuillez me faire parvenir votre documentation.

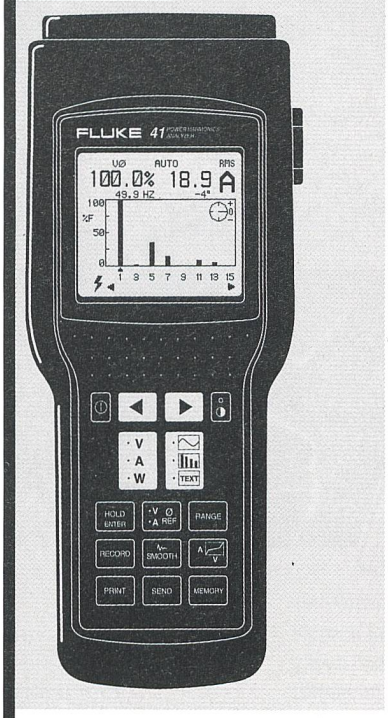
☐ Pourriez-vous me/nous rendre visite, avec préavis s.v.p.?
Nom/adresse: _____

bk

lanz oensingen sa
CH-4702 Oensingen · téléphone 062 78 21 21

Harmonics Meter

FLUKE 40/41



OBERSCHWINGUNGEN schnell erkennen und überwachen!

Fluke 40 und 41 sind die neuen, einfachen und handlichen Prüfmittel, um die Qualität Ihrer Energieversorgung zu testen.

Sie messen
- Spannung und Strom (simultan) echt effektiv

Zeigen auf Tastendruck
- Vrms, Arms und die Spitzenwerte
- Wirk- und Blindleistung
- Crestfaktor, Leistungsfaktoren
- Sowie den K-Faktor
- Die gesamten Oberschwingungen

Darstellung der Resultate
- In Kurvenform
- Im Balkendiagramm bis zur 31sten Oberschwingung
- In numerischer Form

Dokumentations- und Speichermöglichkeit (nur Fluke 41)

The Best in Test & Measurement.

FLUKE
Fluke (Switzerland) AG
Rütistrasse 28
8952 Schlieren
Telefon: 01/730 33 10
Telefax: 01/730 37 20

Direkt ab Lager bei:
Distrelec AG 01/944 99 11

ENELTEC

- Netzanalysen
- Resonanzabklärungen
- Beratung über Netzrückwirkungen (SEV / VSE-Richtlinien)
- Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV-Anlagen)
- Blindleistungs-Kompensationsanlagen
- Leistungsfilter (Saugkreise zur Reduktion der OS-Spannungsbeiträge)

Eneltec AG
Energie Elektrotechnik
5504 Othmarsingen
Switzerland
Telefon 064 56 01 22
Telefax 064 56 10 89

Sicherheit dank unseren USV

SIEMENS NIXDORF

SICAD-CH/open – Das Softwarekonzept für Geoinformationssysteme.

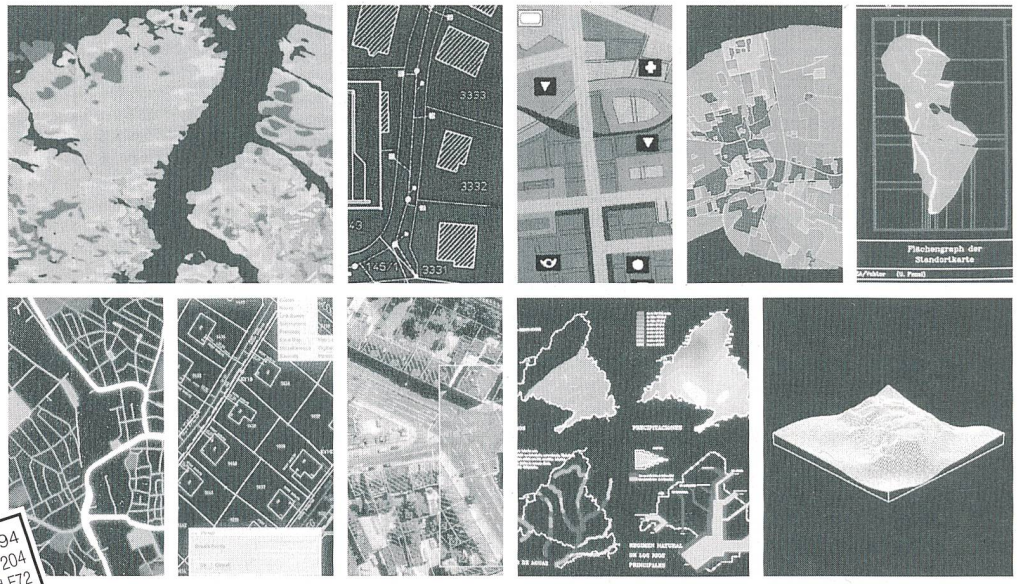
Mit SICAD-CH/open stellt Siemens Nixdorf jetzt die ganze Lösungsbreite unter UNIX zur Verfügung – mit den Standards der offenen Welt.

Herausragende Eigenschaften von SICAD-CH/open sind:

- Turn Key-Lösungen für Versorgung, Entsorgung und Gemeinden
- Datenbanken Oracle und Informix
- Verteilte Geo- und Alphadatenhaltung
- Verteilte Verarbeitung mit Client-Server-Architektur
- Hochleistungs-RISC-Workstations
- Standardisierte Eingabe unter OSF/Motif und X-Window
- Verarbeitung von Vektor-und Rasterdaten

Wenn Sie über SICAD-CH/open mehr wissen wollen: Herr Urs Wyss gibt gerne Auskunft.

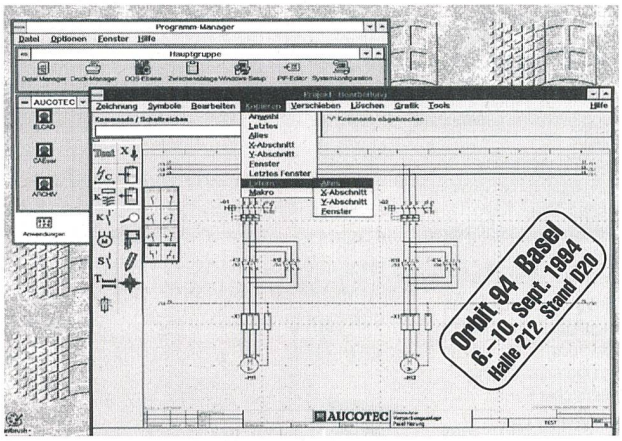
Siemens Nixdorf Informationssysteme AG, Bereich GIS
Obstgartenstr. 25 8302 Kloten



orbit 94
Halle 204
Stand F72

Synergy at work

ELCAD für den Elektrotechniker



Über 50% Zeitersparnis gegenüber konventionellen CAE-Lösungen

- Vollautomatisierte, modulare Konstruktion
- Automatische Anschlusspläne, Klemmenpläne, Kontaktnummern und Querverweise
- Fehlererkennung durch Plausibilitätsprüfung
- **neu:** lauffähig auf PC/Windows **und** Workstation/Motif
- 100% Datenkompatibel über alle Betriebssysteme
- über 5'500 Installationen

rotring (Schweiz) AG
CH-8953 Dietikon
Telefon 01 / 740 20 21
Telefax 01 / 742 10 52

rotring
Grafische Datenverarbeitung

Lienhard

LIFOS-EW
Ihr Beratungs-Team mit der grössten praktischen Erfahrung bei der Einführung Ihres Netzinformations-systems.
Rufen Sie uns an.

Bolimattstrasse 5
5033 Buchs-Aarau
Telefon 064 22 82 82
Telefax 064 22 89 78

Ingenieurbüro K. Lienhard AG Buchs-Aarau