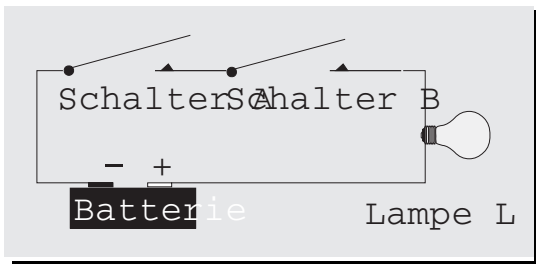


Die elektronische Realisation der Booleschen Ideen

Versuchen wir nun einmal, anhand der Entwicklungen des Computerpioniers Konrad Zuse herauszufinden, wie die verschiedenen Bauelemente der bis jetzt beschriebenen Computersysteme eingesetzt wurden, um logische Schaltungen zu realisieren.

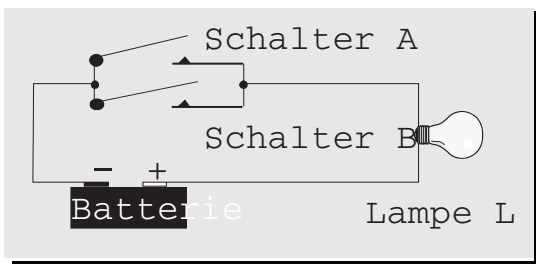
Seine ersten logischen Schaltungen zimmerte Zuse noch aus mechanischen Elementen, mittels geschlitzten und bewegten Blechen zusammen. Mit diesen Elementen konstruierte er seine programmgesteuerte mechanische Rechenmaschine ZUSE Z1.

Sehr bald bediente er sich aber elektromagnetischer Relais, wie sie damals in der Fernmeldetechnik zur Durchstellung von Telefonverbindungen schon lange verwendet wurden. Zuse verwendete diese Relais als Schalter, die nur die beiden Zustände – offen oder geschlossen – kennen. Damit lassen sich nun logische Verknüpfungen sehr einfach realisieren. Wir wollen versuchen, unsere logischen Grundoperationen anhand von Experimenten mit Schaltern, einer Lampe und einer Batterie zu erklären:



Schalter A	Schalter B	Lampe L
offen	0	dunkel 0
offen	0	zu dunkel 0
zu		offen 0 dunkel 0
zu		zu brennt

Illustration 6/2: Illustratives Schaltbild und Wahrheitstabelle einer UND-Schaltung.



Schalter A	Schalter B	Lampe L
offen	0	dunkel 0
offen	0	zu brennt
zu		offen 0 brennt
zu		zu brennt

Illustration 6/3: Illustratives Schaltbild und Wahrheitstabelle einer ODER-Schaltung.

Die **Lampe L** brennt, wenn sie in einem geschlossenen Stromkreis eingesetzt ist, der von der Batterie gespeist wird. Der Stromkreis unserer Illustration 6/2 ist nur dann perfekt, wenn die beiden Schalter **Schalter A** und **Schalter B** betätigt, d.h. geschlossen werden. Unser Experiment veranschaulicht somit die logische UND-Verknüpfung.

Wenn wir dieses Experiment für jede mögliche Stellung der beiden Schalter durchführen, so erhalten wir die Wahrheitstabelle für die UND-Verknüpfung (Illustration 6/2 rechts).

Führen wir nun das gleiche Experiment für die ODER-Verknüpfung ein, so erhalten wir die Schaltung in Illustration 6/3. Auch hier lässt sich die Wahrheitstabelle leicht aufstellen (siehe Illustration 6/3 rechts).

Bei der ODER-Schaltung genügt es also, dass ein einziger Schalter geschlossen wird, damit die **Lampe L** brennt. Diese Experimente können aber mit beliebig vielen Schaltern, in der gleichen Schaltungsanordnung ergänzt, durchgeführt werden. Am Resultat wird sich nichts ändern. Das bedeutet, dass beim logischen Baustein zwei oder mehr Eingänge beteiligt sein können. Sie alle beeinflussen dann den Zustand des einzigen Ausganges.

Um eine Negation bzw. eine NICHT-Funktion zu realisieren, genügt ein einziger Schalter (Illustration 6/4 rechts). Sobald er geschlossen wird, entsteht ein Kurzschluss und die Lampe erlischt. Die Wahrheitstabelle für die Negation ist in Illustration 6/4 links dargestellt.

Die 1941 fertiggestellte ZUSE Z3 von Konrad Zuse basierte ausschliesslich auf solchen elektromagnetischen Relais-Schaltungen. Die MARK I von Aiken dagegen war aus elektromechanischen Bestandteilen aufgebaut. Für ein grosses Aufsehen aber sorgte der Rechner, der erstmals Elektronenröhren als Schaltelemente verwendete – sein Name: ENIAC.

Schalter A		Lampe L	
offen	0	brennt	1
zu	1	dunkel	0

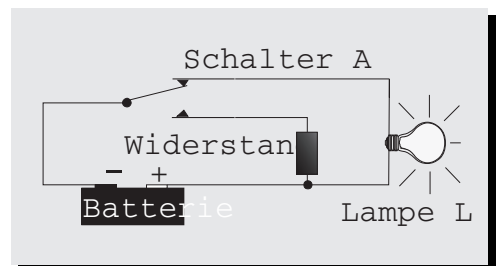


Illustration 6/4:
Illustratives Schaltbild und Wahrheitstabelle einer NICHT-Schaltung.

Die Eigenschaft der Elektronenröhren, als kontaktlose Schaltelemente zu arbeiten, führten zu ihrem Einsatz in logischen Grundfunktionen der neuen Computergenerationen und erhöhten deren Rechengeschwindigkeit enorm. Solche Röhren waren aber recht gross, hatten ein teures Innenleben, verbrauchten wegen der notwendigen Beheizung viel Strom und hatten eine relativ kurze Lebensdauer. Computer dieser Bauart kamen somit fast nur für exklusive Anwendungen an Universitäten, beim Militär und in Grossfirmen in Frage.

Wären die früheren Computeranlagen immer nur Einzelanfertigungen, so wurde 1951 mit der UNIVAC 1, entwickelt von den ENIAC-Vätern Eckert und Mauchly, der erste Grossrechner in Serie gebaut; insgesamt wurden 45 Systeme der UNIVAC 1 produziert.

Die Voraussetzung der Verfügbarkeit immer grösserer und preislich günstigerer Computerleistungen wurde erst durch den Einsatz von Halbleiterelementen geschaffen. Der grosse Schritt gelang eigentlich erst mit der Erfindung des Transistors, den man als kontaktlosen Schalter einsetzen konnte.

Die grossen Vorzüge der Halbleiterbauelemente gegenüber elektro-mechanischen Relais und Röhren sind offensichtlich: Halbleiterbauelemente sind, wie wir später noch sehen werden, sehr einfache Bausteine.

Sie bestehen im Gegensatz zur Konstruktion einer Röhre nur noch aus einer Struktur unterschiedlich leitender Halbleitermaterialien, Leiterbahnen und Isolationsschichten. Sie beanspruchen wenig Platz

Bild 6/38:

Das Innenleben einer UNIVAC-1 – ein heilloses Durcheinander von Röhren, Relais und Speichertrommeln. Der Innenraum ist aber so gross, dass gleichzeitig vier Servicetechniker nebeneinander bequem arbeiten könnten.



und ihr Betrieb bedingt nur einen minimalen Energieverbrauch, da sie keine Heizleistung wie die Röhre benötigen. Die geeigneten Produktionsmethoden vorausgesetzt, sind sie in grossen Stückzahlen zudem sehr preisgünstig herzustellen.

Bis es aber soweit war, passierte noch einiges in der spannenden Entwicklungsgeschichte. Für die ersten Transistoren, die produziert wurden, verwendete man als Grundmaterial Germanium (ein vierwertiges chemisches Element mit Halbleitereigenschaften, genau wie Silizium). Der Zeitraum zwischen 1950 und 1960 wird deshalb gerne als das Germanium-Zeitalter bezeichnet.

Der erste Transistor aus Silizium, dem heute üblichen Grundmaterial, wurde 1954 vorgestellt. Silizium verdrängte das Germanium daraufhin total.

Bezeichnete man die Röhrenrechner als Computer der ersten Generation, so begann mit dem Bau der ersten Transistorcomputer die zweite Generation. Der erste mit Transistoren bestückte Rechenautomat der Welt, der TRADIC, wurde am 19. März 1955 in den Bell Labs vorgestellt. J.H. Felker baute den Transistor-Digital-Computer für die US-Luftwaffe. Er bestand aus rund 800 Transistoren, 11'000 Germaniumdioden und verbrauchte rund 100 Watt an elektrischer Leistung. Der erste volltransistorisierte Computer, der serienmässig hergestellt wurde, war der Siemens-Rechner 2002 aus dem Jahre 1957. ■



Bild 6/39:
Mit dem Aufbau von Magnetkernspeichern (Core-Memory) konnten platzsparende Arbeitsspeicher realisiert werden.

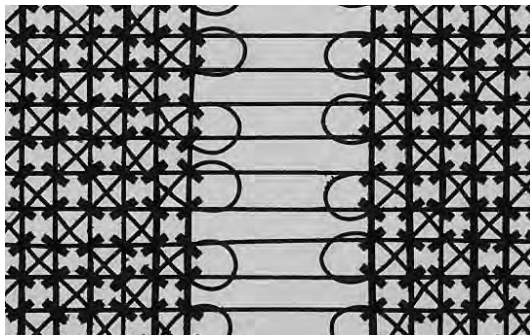


Bild 6/40:
Der Magnetkern ist in der Lage, eine Null oder eine Eins abzuspeichern. Über Drähte können Informationen gelesen oder geschrieben werden.

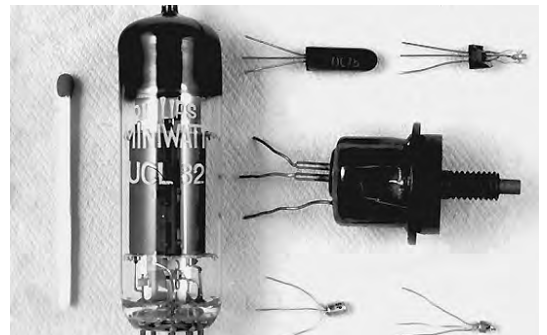


Bild 6/41:
Das Germanium-Zeitalter der Jahre 1950-1960. Das Bild zeigt die verschiedenen Verkleinerungsstufen der Germanium-Transistoren im Vergleich zu einer Elektronenröhre.

1957 – der Sputnikschock



Bild 6/42:
Der Transistor war für den Entwickler ein Paradies: Zu Tausenden wurden sie zu immer neuen Funktionen zusammengelötet.

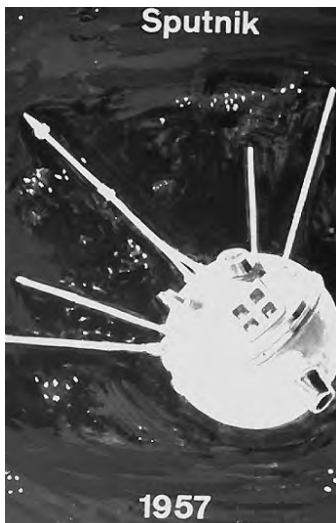


Bild 6/43:
Der 4. Oktober 1957: Trauertag für die US-Ingenieure, da die Russen den ersten künstlichen Erdtrabanten starten konnten.

▼

Diese Transistoren wurden nun zu Hunderten miteinander sowie mit weiteren diskreten Komponenten wie Widerständen, Kondensatoren und Spulen zu komplizierten elektronischen Systemen – analogen wie digitalen – zusammengelötet. Diese Systeme sprengten bald das Volumen der Gehäuse, waren sehr schwer und vor allem – infolge der Unmengen von Lötstellen, die bei der Verbindung der Bauelemente untereinander zwangsläufig entstehen mussten – sehr unzuverlässig.

Die US-Ingenieure waren sich aber ihrer technologischen Vormachtstellung im Elektronikbereich vollkommen sicher. Bis zum verhängnisvollen 4. Oktober 1957, als die massgebenden Experten der US-Weltraumbehörde an einer Cocktailparty in Huntsville/Alabama – sie wurden von Wernher von Braun gerade über die Möglichkeiten der Raketentechnik aufgeklärt – von einer Katastrophenmeldung „erschlagen“ wurden.

Diese Nachricht stürzte nicht nur die Experten, sondern die ganze Nation in einen regelrechten Frustrationszustand. Der so solide erscheinende Technologietempel USA wurde in seinen Grundfesten arg erschüttert und aus seinem Gleichgewichtszustand in eine Phase der Instabilität geworfen. In der Einöde Kasachstans wurde an diesem Tag eine alte, umgebaute sowjetische Interkontinentalrakete gestartet. Anstelle der vorgesehenen Atombombe trug sie in ihrer Spitze eine kleine Metallkugel mit einem Durchmesser von 58 Zentimetern. Minuten später ertönte ein leises Pieps-Pieps aus dem Weltraum; Sputnik 1, der erste künstliche Erdtrabant, gab seine Lebenszeichen von sich.

Die Amerikaner, noch schwer geschockt, versuchten bereits am 6. Dezember 1957, ihre erste Metallkugel ins Blaue der Stratosphäre zu befördern, mit dem Resultat eines riesigen Feuerballs knapp oberhalb des Startturmes. Nach dieser Blamage zeigten die Amerikaner nun aber, was in ihnen steckt, wenn sie unsanft aus dem Technolgietraum gerissen werden. Innerhalb von nur 85 Tagen (31. Januar 1958) brachten sie den neuentwickelten EXPLORER 1 in die Erdumlaufbahn.

Vom Erfolg beflügelt, wurde das gigantische Mercury-Projekt mit dem Ziel, einen Menschen um die Erde kreisen zu lassen, gestartet. Mit diesem gewaltigen Projekt wurden gleichzeitig enorme Geldbeträge für die Industrie freigesetzt. Zielsetzung war die Entwicklung einer sogenannten Molekularelektronik, mit der das hohe Gewicht der Steuerungselektronik drastisch gesenkt werden sollte. Damit wurde, wahrscheinlich völlig unbewusst, der Startschuss zum Zeitalter der Mikroelektronik gegeben. ■

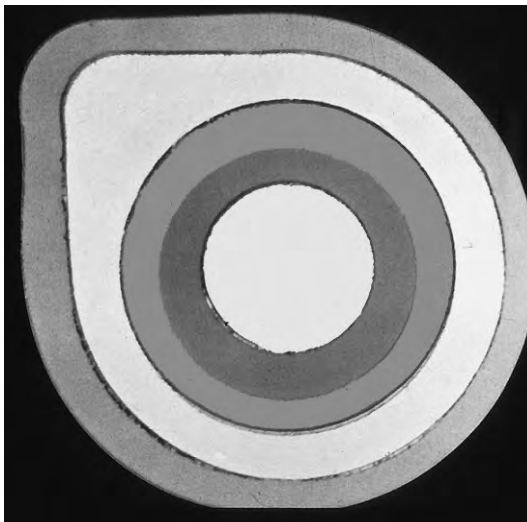


Mitte September 1957 stellte die Firma Fairchild, kurz vorher zur Herstellung von Halbleiterbauelementen gegründet, acht Elektroingenieure ein (the traitorous eight), welche bis dahin bei Shockley Semiconductor Laboratory tätig gewesen waren. Diese Herren beschäftigten sich schon länger mit der Herstellung von Transistoren, mit Silizium als Grundstoff.

Als Experte in der neuartigen Diffusionstechnologie war auch Jean Hoerni, ein Mann schweizerischer Abstammung, dabei. Mit dem Einsatz dieser Diffusionstechnologie gelang es Fairchild sehr bald, Transistoren mit präziserer Dicke, oder besser Dünne der verschiedenen Strukturen herzustellen, zehnmal genauer als mit allen anderen bisher bekannten Methoden. Bereits 1958 wurde mit dieser Technologie ein sogenannter Mesa-Transistor gefertigt.

Es dauerte aber bis 1960, bis diese Herstellungstechnologie soweit ausgereift war, dass sie der Öffentlichkeit vorgestellt werden konnte. Sie wurde bekannt unter der Bezeichnung Silizium-Planar-Technologie. Auch heute noch wird zur Massen-Herstellung von integrierten Bausteinen, den bekannten Chips, beinahe ausschliesslich diese Technologie – natürlich stark erweitert und verfeinert – verwendet.

Diese Technologie erlaubte die Herstellung winzig kleiner Transistoren. Ab 1962 wurden damit die Computer der 3. Generation ausgestattet, welche viel leistungsfähiger als die früheren Rechner waren. Konnten Computer der zweiten Generation bereits über 1000 Additionen pro Sekunde berechnen, so waren die neusten Geräte über 100 mal schneller.



Kilby und Hoerni – die Väter der neuen Elektronik

Bild 6/44:

Der erste Transistor im noch heute üblichen Herstellungsprozess, der Silizium-Planar-Technologie, wurde 1960 von Fairchild vorgestellt.

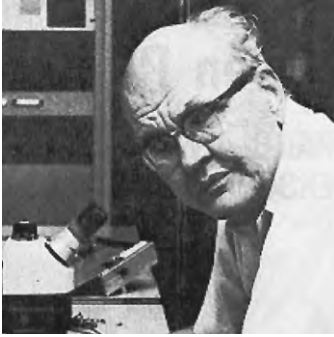


Bild 6/45:
Jack Kilby war einer der Väter der Integrationsidee und begründete damit die Welt der Mikroelektronik.

Der zweite Vater neben dem Technologie-Erfinder Hoerni ist Jack St. Clair Kilby, der heute noch bei Texas Instruments (TI) arbeitet. Trotz Betriebsferien im Juli 1958 forschte er in seinem Labor und begann seine Idee – die Herstellung einer Schaltung bestehend aus verschiedenartigen Komponenten – auf gleichem Substrat aufgebaut, in die Tat umzusetzen. Damit kreierte er die eigentliche Integrationsidee.

Obwohl Kilby ein ausgesprochener Silizium-Mann war, fand er zur Verwirklichung seiner Idee kein geeignetes Stück Silizium. Er musste deshalb auf Germanium ausweichen.

Am 12. September 1958 demonstrierte Kilby einer Gruppe von TI-Managern seinen erfolgreich arbeitenden Phasenverschiebungs-Oszillator, welchen er als Oszillatorenchip bezeichnete. Dieser sogenannte Germanium-Meso PNP-Baustein wurde unter der US-Patent-Nr. 3.138.743 angemeldet; er legt Zeugnis ab von einer epochalen Pioniertat.

Das Zusammenführen der Integrationsidee von Kilby und der Silizium-Planar-Herstellungstechnologie nach Hoerni führte zu den sogenannten integrierten Schaltungen (IC: Integrated Circuit). Alle frühen IC wurden mit der Bipolar-Technologie hergestellt. Bipolar bedeutet, dass negative und positive Ladungen zur Realisierung der Transistorfunktion notwendig sind.

1962 wurde von Steven Holstein, der bei RCA arbeitete, ein neuartiger Transistor konstruiert, der mit nur einer einzigen Ladungsart arbeiten kann.

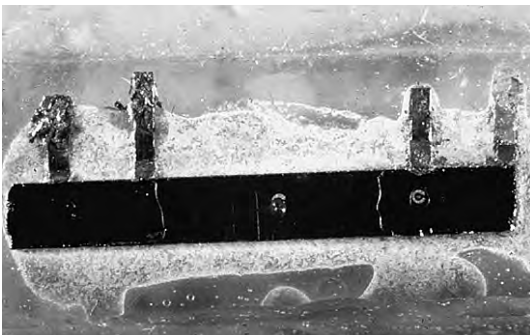


Bild 6/46:
Die erste integrierte Schaltung von Texas Instruments aus dem Jahre 1958: Diese experimentelle Schaltung ist allerdings noch aus Streifen von unterschiedlich dotierten Germanium-Halbleitermaterialien aufgebaut.

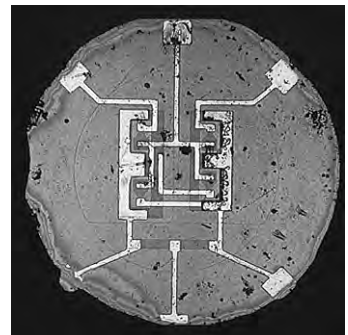


Bild 6/47:
Die Integrationsidee von Kilby und die Herstellungs-Technologie von Hoerni führten 1961 zum ersten IC in der heute üblichen Bezeichnung. Das Flip-Flop enthält vier Transistoren und zwei Widerstände.

Vom Schichtaufbau dieses Transistors – er besteht aus einer Metallschicht (M), einer Oxidschicht (O) und einer Halbleiterschicht (S: Semiconductor) – leitet man die heute geläufige Bezeichnung MOS-Transistor ab.

Moderne Abarten wie die stromsparenden CMOS-, HMOS- und BiCMOS-Transistoren und Schaltungen, bestimmen die heutige Technologie der Höchstintegration (Anhang A).

Im März 1960 kündigte Texas Instruments (TI), auch eine der wichtigsten Halbleiter-Ursprungsfirmen, den ersten Baustein (Customer-IC) an, der völlig nach Kundenwunsch, in diesem Fall für das Verteidigungsministerium, erstellt worden war. Auch Fairchild baute 1961 seinen ersten IC, einen Flip-Flop mit vier Transistoren und zwei Widerständen.

Bis Ende 1961 produzierten beide Firmen kommerzielle, d. h. für jedermann käufliche Bausteine in grösseren Stückzahlen. Fairchild nannte seine Familie MICROLOGY, und TI bezeichnete sie als SERIE 51 LOGIC FAMILY. Im Oktober 1961 lieferte TI an die Armee einen kleinen Computer, der vollständig mit ihren eigenen integrierten Bausteinen aufgebaut war und erstmals einen reinen Halbleiterspeicher von einigen hundert Bit besass.

Von 1957 bis Ende 1961 stieg die Zahl der weltweit installierten Computer, die immer noch ausschliesslich in Transistortechnik gefertigt wurden, sprunghaft von 1300 Anlagen auf 7300 an. Dank weiterer technologischer Fortschritte in der Herstellung begannen die Preise bereits zu sinken, und die Anlagen wurden zusehends kleiner. ■

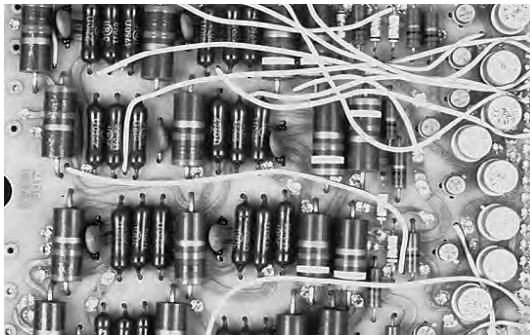


Bild 6/48:

Dieses Einsteckmodul aus einem Computer aus dem Jahre 1963 ist aus Komponenten wie Transistoren, Widerstände und bereits integrierten Bausteinen, allerdings noch in runden Gehäusen, aufgebaut.



Bild 6/49:

Ein Grossrechenzentrum aus Jahre 1965 (UNIVAC 1108) zeigt den enormen Platzbedarf. Links und hinten stehen die Magnetband-Einheiten, rechts die rotierenden Massenspeicher, in der Mitte die Zeilendrucker.

Berauschendes Entwicklungstempo

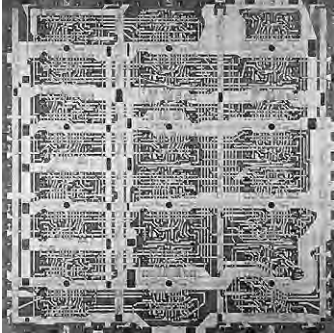


Bild 6/50:
1966 brach das Zeitalter der Mittelintegration (MSI: Medium Scale Integration) an. Auf einer Chipfläche von nur wenigen Quadratmillimetern wurden bereits rund 100 Transistoren untergebracht.

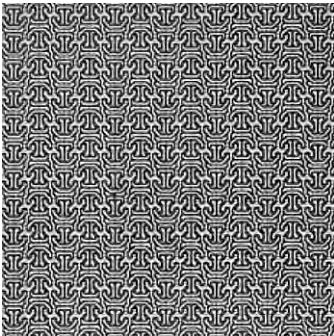


Bild 6/51:
1972 begann die Epoche der Grossintegration (LSI: Large Scale Integration) mit über 1000 integrierten Transistoren. Hier ist das erste I-K-RAM in TTL-Technologie dargestellt.

1964 gelang bereits die Herstellung eines Halbleiterbausteins mit 16 integrierten Transistoren. Die Anzahl Transistoren, die gleichzeitig in einem Baustein hergestellt werden können, bezeichnet man als die Integrationsdichte. Die Anfangszeit der Integrationsentwicklung wird als SSI-Aera bezeichnet, die Zeit der Kleinintegrationen (SSI: Small Scale Integration).

Bereits 1966 war es möglich, gegen 60 Transistoren in einer einzigen integrierten Schaltung unterzubringen. Mit diesem Grenzwert begann das Zeitalter der Mittelintegration (MSI: Medium Scale Integration). Als Mittelintegration werden Bausteine mit einem oberen Grenzwert von 1'000 Transistoren pro integrierte Schaltung bezeichnet. Diese Grenze wurde 1971 erstmals erreicht.

In der Zwischenzeit gelang es zuerst einmal, über 100 Transistoren auf einem einzigen Siliziumplättchen, einem Chip, zu integrieren. In den Jahren 1968 und 1969 wurden auch die grossen Weltraumabenteuer mit der ersten Mondumrundung und der ersten Mondlandung als Höhepunkt des ehrgeizigen Apolloprojekts dank den integrierten Schaltungen erfolgreich überstanden.

Die Epoche der Grossintegration (LSI: Large Scale Integration) begann im Jahre 1971, mit 1'000 und mehr Transistoren auf einem einzigen Chip. Die magische Grenze von 10'000 Transistoren wurde 1976 erstmals durchstossen, und 1977 waren schon die ersten 16-K-Speicherbausteine erhältlich. Bereits konnten über 20'000 Transistoren auf einem Chip untergebracht werden. Ab 1980 beginnt die wichtige Epoche der Höchstintegration (VLSI: Very Large Scale Integration). Es wurden schon 100'000 Transistoren auf einer winzigen Fläche von nur 20 bis 40 mm² integriert. 1984 war die Technologie schon so weit fortgeschritten, dass die ersten Mega-Chips hergestellt werden konnten, also Chips, die bereits mehr als eine Million Transistoren enthalten. Als 1-Mega-Chip bezeichnet man einen Baustein, der über eine Million binäre Speicherzellen verfügt.

Ab 1988 wurden die ersten 4-Mega-Chips in Japan und ein Jahr später auch in Europa produziert. 1990 konnten die ersten 16-Mega-Chips hergestellt werden, was nichts anderes bedeutet, als dass auf einem einzigen Baustein rund zwei Millionen Zeichen oder 1000 Schreibmaschinenseiten ablegbar sind.

In den Labors experimentiert man bereits mit dem 256-Mega-Chip und die Produktion der 64-Mega-Chips wird vorbereitet.

Der Eintritt in die Epoche der VHLSI-Schaltungen (Very High Large Scale Integration) mit mehr als zehn Millionen Transistoren pro Chip ist Tatsache und die nächste Epoche der ULSI-Schaltungen (Ultra Large Scale Integration) ist in Sicht.

Was an dieser Entwicklungsgeschichte so fasziniert, ist die Tatsache, dass man gelernt hat, durch ständige Verbesserung eines bekannten Herstellungsverfahrens immer höher integrierte Bausteine herzustellen.

Trägt man diese Entwicklung im logarithmischen Masstab auf einem Blatt Papier ein, so erhalten wir einen Vektor, der als die Moore'sche Gerade bezeichnet wird. Bereits 1964 hatte nämlich Gordon Moore vorausgesagt, dass die Anzahl Transistoren, die sich auf einem Chip integrieren lassen, von Jahr zu Jahr verdoppelt werden könne. Diese Voraussage ist auch sehr exakt eingetroffen. Moore korrigierte später seine Hypothese nur dahin, dass die Verdoppelung für die Speicherbausteine gelte, die eine völlig reguläre, d.h. leichter herstellbare Struktur aufweisen. Die komplexen Strukturen der Mikroprozessoren erlauben eine Verdoppelung alle 18 Monate (siehe dazu Illustration 6/6).

Nur hatte sich Moore wohl noch keine allzu grossen Gedanken gemacht, was die Menschheit 20 Jahre später mit einer Million Transistoren auf einem einzigen Baustein anfangen soll. Auch heute haben wir ja Mühe, diese enorme technologische Leistung in vernünftige Anwendungen zu transferieren; einzig bei Speicherbausteinen scheinen die Möglichkeiten der Höchst-integrationen direkt genutzt werden zu können.

Aber machen wir uns denn schon Gedanken, was wir an der Wende ins nächste Jahrtausend mit einer Milliarde Transistoren auf einem Baustein anstellen sollen?

Haupteinsatz solcher höchstintegrierter Bausteine dürfte wie heute der Aufbau von hochkomplexen Speichersystemen auf kleinstem Raume sein. Aber auch Hochleistungsprozessoren werden die modernen Anwendungen der Bild-, Video- und Sprachverarbeitung derart beschleunigen, dass diese problemlos überall brauchbar werden.

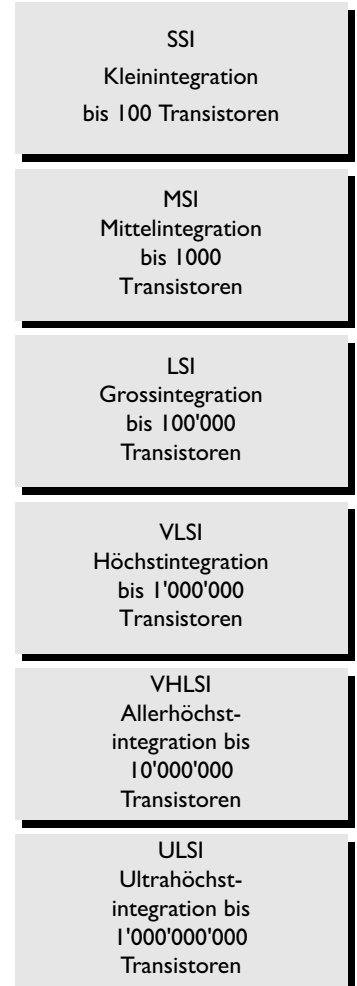
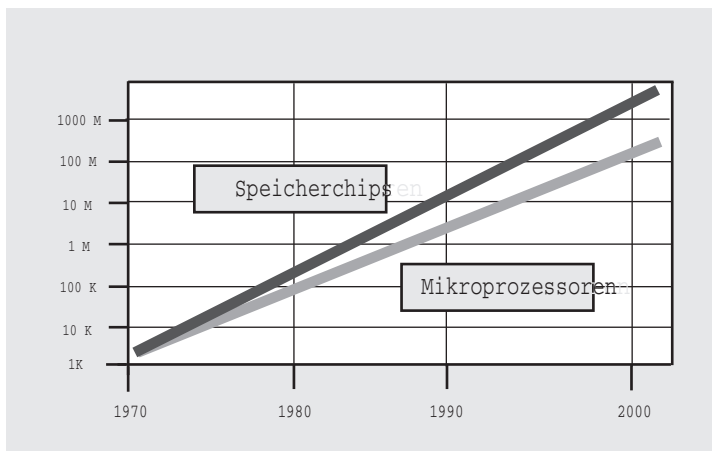


Illustration 6/5:
Die unterschiedlichen Entwicklungsstufen der Integrationstechnologie.

Illustration 6/6:
Die Voraussagen von Gordon Moore treffen sehr exakt ein: Alle 12 Monate verdoppelt sich die Integrationsdichte bei regulären Speicherbausteinen und alle 18 Monate bei Mikroprozessoren.

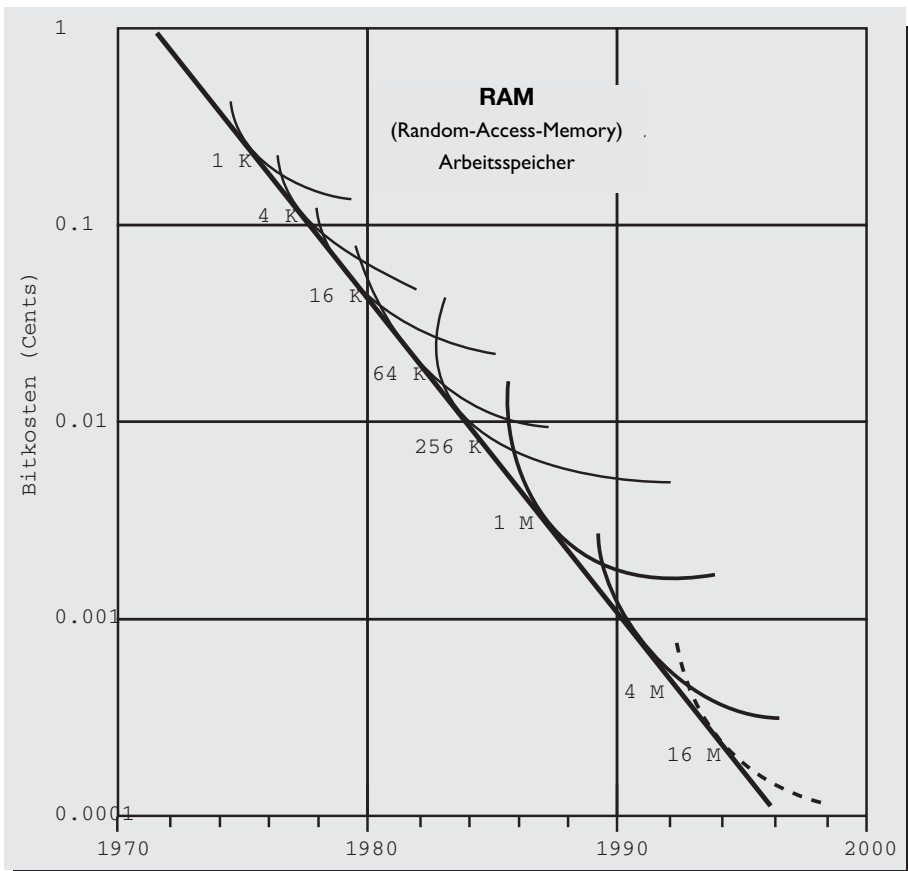


Bild 6/52:
1984 war es soweit: Erstmals konnten eine Million Transistoren auf einem einzigen Chip integriert werden, der Mega-Chip war da.



Bild 6/53:
Gordon Moore erkannte als erster das unbrennbare Entwicklungspotential der Integration von Chips.

Illustration 6/7:
Neben der ständigen Erhöhung der Transistorenzahl ergaben sich auch laufend sinkende Kosten für einen Transistor. Bei Arbeitsspeicherbausteinen (RAM) gilt: Der Preis sinkt alle 4 Jahre auf einen Zehntel.



Dieser Trend sollte eigentlich dazu führen, dass gleichbleibende Computerleistungen immer billiger hergestellt werden oder dass zum gleichen Preis immer leistungsfähigere Systeme realisierbar sind, was durch die Geschichte auch bestätigt wird.

Die ersten Computersysteme waren alles Einzelanfertigungen und wurden an Hochschulen und im Militär eingesetzt.

1951 wurde, wie bereits erwähnt, mit der Ankündigung der UNIVAC 1 von Sperry erstmals ein Computer in grösserer Stückzahl produziert.

Dieses System, wie auch viele Nachfolger von Firmen wie IBM, Burroughs, Control Data, kosteten Millionenbeträge und konnten somit meist nur von Grossfirmen, Banken, Versicherungen und staatlichen Stellen wirtschaftlich eingesetzt werden.

Dies änderte sich aber schlagartig, als 1965 die Digital Equipment Corporation (DEC) den ersten Prozessrechner vorstellte, die legendäre PDP-8. Dies war der erste massenproduzierte Computer. Die PDP-8 kostete weniger als 20'000 US-Dollar und machte damit den Weg frei für den Computereinsatz in der Produktion und im Labor.

Diesem erstmals erkennbaren Trend zu kleineren Computersystemen folgten sofort viele andere Hersteller mit ihren eigenen Produkten, wie etwa IBM mit dem System IBM 1800. 1965 waren weltweit etwa 31'000 Computersysteme im Einsatz. ■



Bild 6/55:

Das Steuerpult bzw. die Operationskonsole der UNIVAC 1 aus dem Jahre 1951 gleicht eher einem Leitstand eines Kraftwerkes als einer Computerkonsole.



Bild 6/54:

Kenneth Olsen, Gründer und bis Mitte 1992 noch Präsident von DEC, gab der Computerindustrie entscheidende Impulse.



Bild 6/56:

Der erste und wohl auch berühmteste Prozessorrechner, die PDP-8 der Digital Equipment Corporation (DEC) aus dem Jahre 1965.

Das geheimnisvolle Bauelement 4004



Bild 6/57:
Robert Noyce, der Intel-Gründer, stand dem Mikroprozessor Pate.

▼

Während immer mehr Computer mit integrierten Schaltkreisen, vor allem im Speicherbereich, ausgerüstet wurden, versuchten die Halbleiterhersteller und -pioniere wie Intel, Fairchild, American Microsystems, Texas Instruments, Mostek u.a.m. Rechnerchips für Taschenrechner herzustellen. Vor allem Intel spezialisierte sich auf Entwurf und Herstellung von komplizierten integrierten Schaltungen und erhielt 1969 vom japanischen Tischrechner-Hersteller Basicom Corporation. (anderer Name: ETI) eine Anfrage zur Integration aller Bestandteile eines Rechners. Marcian Ted Hoff, der Projektleiter, merkte aber bald, dass ein solcher Taschenrechnerchip die Komplexität und den Preis eines Minicomputers haben würde. Dieser Umstand machte ihn stutzig, denn der Taschenrechnerchip war ja nur für einen kleinen Bruchteil der Möglichkeiten eines Minicomputers vorgesehen. Deshalb entwarf Hoff einen ganzen Chipsatz, der die enorme Leistungsfähigkeit einer PDP-8, die damalige Königin unter den Minicomputern, haben sollte.

Die Japaner waren nicht begeistert von der Idee. Hoff und der ehemalige Fairchildmann Stan Mazer erhielten aber von ihrem Intel-Boss Robert Noyce den Auftrag, an diesen Bausteinen weiterzuarbeiten. Als den Japanern das fertige Konzept präsentiert wurde, sicherten sich diese mit einem Exklusivvertrag die Bezugsrechte für die Chips, welche die Bezeichnung 4004 bekamen. Erst zwei Jahre später erhielt Intel die Erlaubnis, den 4004-Chip auch an andere zu verkaufen. Basicom zog sich nun vollständig zurück; Intel aber entwickelte diesen Chip unter der Leitung von Federico Faggin, dem späteren Gründer der Firma Zilog, weiter und brachte ihn zur Produktionsreife.

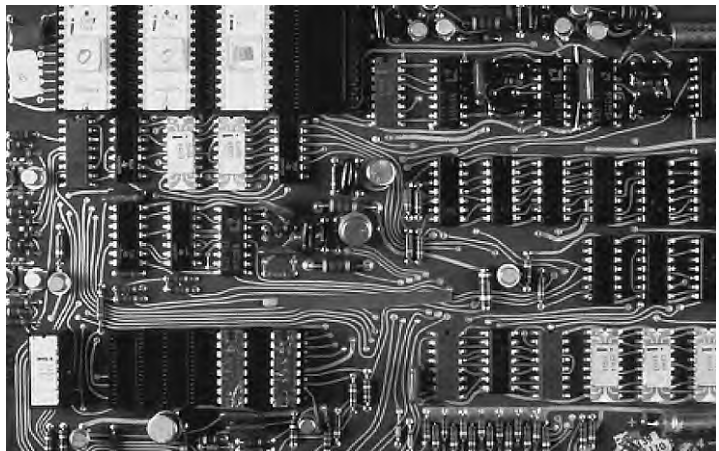


Bild 6/58:
Der erste Mikrocomputer trug die Bezeichnung 4004 und wurde anfangs 1972 lanciert. Herzstück war der erste Mikroprozessor 4004, aufgebaut mit 2300 Transistoren.

In ELECTRONIC NEWS vom 15. November 1971 gab Intel dann ein unscheinbares Inserat auf: „Announcing a new era of integrated electronic: A microprogrammable computer on a chip.“ Unter der Bezeichnung 4004 wurde somit der Welt erstmals ein Mikroprozessor vorgestellt.

Er enthielt 2300 Transistoren und war für die parallele Verarbeitung von vier Binärstellen ausgelegt, es war also ein 4-Bit-Mikroprozessor. Die Funktion des Chips entsprach der arithmetischen und der logischen Einheit eines Minicomputers.

Im April 1972 wurde auch der zweite Baustein für acht Stellen (2900 Transistoren), der INTEL-8008-Prozessor, der erste 8-Bit-Mikroprozessor, welcher für rund 200 Dollar gekauft werden konnte, vorgestellt. Beide Bausteine wurden als universelle Steuerbausteine angeboten. Intel wartete ab, wie der Markt auf diese zu dem Zeitpunkt noch recht sonderbaren Steuerbausteine reagieren würde.

Und der Markt reagierte sehr heftig, denn mit jenen beiden Bausteinen war der Mikroprozessor geboren worden und somit auch der Startschuss fürs goldene Mikroelektronik-Zeitalter gegeben. Mit den beiden Bauelementen wurden erstmals Bausteine vorgestellt, deren Funktion und Aufgabe nicht schon bei der Herstellung unwiderruflich festgelegt werden musste. Die Bausteine „erfahren“ erst an ihrem eigentlichen Einsatzort, in der Waschmaschine, im Audi-CD-Spieler, in der computergesteuerten Werkzeugmaschine, in der Weltraumrakete, in der Videokamera, im Antiblockiersystem oder in der Verkehrsampel, was ihre Aufgabe ist. Sie sind also von aussen für ihre jeweilige Aufgabe programmierbar.

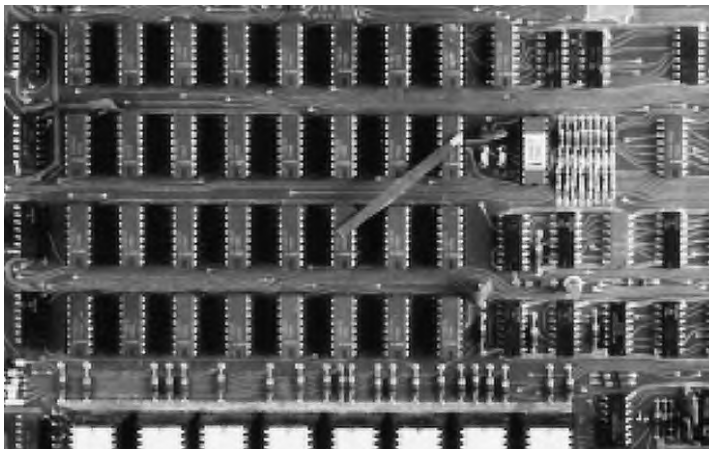


Bild 6/59:

Ab 1972 kamen die ersten Mikrocomputer, wie hier der legendäre INTEL 8008, im Steuerungsbereich zum Einsatz.

Intel, als Begründer der Mikroprozessor-Revolution, ist auch heute noch der innovative Technologieleader im Bereich von hochkomplexen integrierten Schaltungen und von neuartigen Mikroprozessorsystemen.

Im Jahre 1972 wurden die ersten Taschenrechner mit eigenen Calculated Chips (spezielle Mikrocomputer für arithmetische Operationen), wie im Januar der HP 35 von Hewlett Packard, auf den Markt gebracht. Dieser erste technisch-wissenschaftliche Taschenrechner kostete noch stolze 395 Dollars, konnte aber den Rechenschieber und die Logarithmentafel ersetzen und verdrängen. Taschenrechner mit gleichem Leistungsumfang konnten 10 Jahre später für weniger als 10 Dollar gekauft werden!

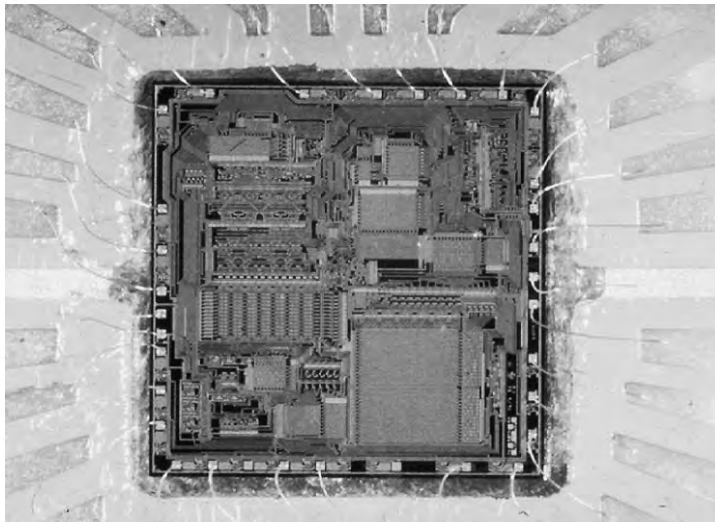
Bereits im Juli des gleichen Jahres lancierte wiederum Texas Instruments einen Taschenrechner als Konsumgut für 149.99 \$ und im August kam National Semiconductor mit einem einfachen 39 Dollar-Rechner auf den Markt.

Vom Erfolg des 8008 überrascht, brachte Intel im April 1974 den berühmten Mikroprozessor INTEL 8080 auf den Markt, der sich als eigentlicher Industriestandard durchsetzen sollte. Er wurde mit nur 5500 Transistoren realisiert.

Immer mehr amerikanische Firmen stürzten sich ins neue Mikrocomputergeschäft. Auch heute noch bekannte Namen wie Motorola, Texas Instruments, Zilog, National Semiconductor, Rockwell und Signetics führten die Liste der Halbleiterfirmen an, die sich fast ausschließlich im Silicon Valley, in der Nähe von San Francisco, etablierten und diesem Technologietal zu sagenumwobenem Image verhalfen.

Bild 6/60:

Mit der Entwicklung des Mikroprozessors waren auch die ersten Taschenrechner möglich, die mit speziellen Calculator-Chips ausgerüstet wurden.



Ende 1975 waren gegen 40 unterschiedliche Mikroprozessor-Typen auf dem Markt erhältlich. Der Gesamtmarktumsatz betrug im gleichen Jahr bereits über 50 Millionen \$ und er stieg innerhalb der nächsten fünf Jahre um den Faktor 10. Der Umsatz mit Mikroprozessoren betrug im Jahre 1992 über 14 Milliarden \$; er wird bis 1996 auf gegen 24 Milliarden \$ ansteigen.

Der Mikroprozessor-Einsatz machte indessen im Jahre 1975 noch einige Schwierigkeiten, denn mit der reinen Herstellung der Bausteine, also der Hardware, war es nicht getan. Was den Mikroprozessoren fehlte, waren Betriebssysteme und auch die Möglichkeiten zur einfachen Programmierung. Auch heute noch stellen wir fest, dass die Entwicklung der Hardware der Entwicklung der Software nach wie vor noch um einige Jahre vorauseilt. ■■

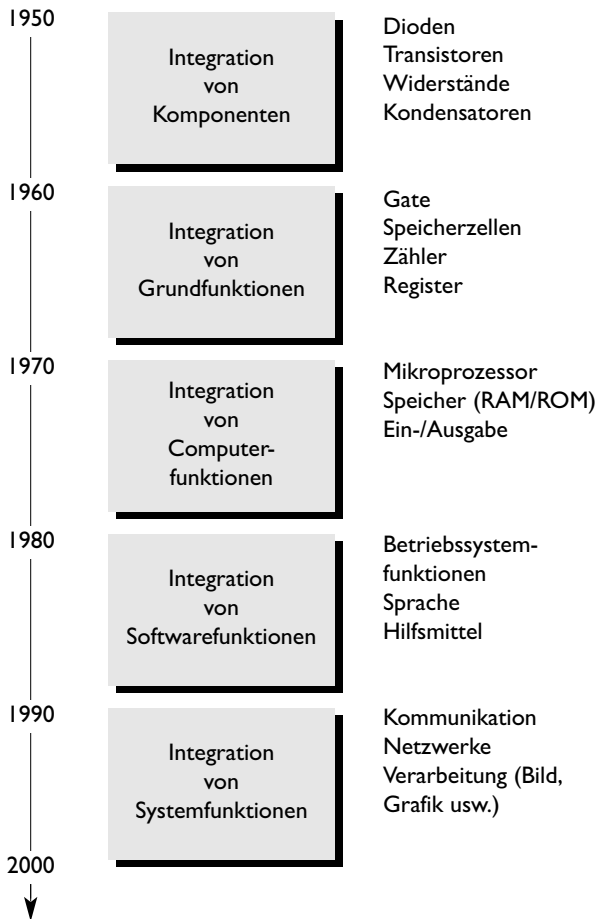


Illustration 6/8:

Die Integrationsentwicklung beschränkt sich nicht nur auf die Transistoren, sondern auch auf die Funktionen.