

# 65 Jahre Integrierte Halbleiter-Schaltungen (ICs)

Michael Schilling,

[www.arge-technik-naturwissenschaft.de](http://www.arge-technik-naturwissenschaft.de)

Mitglied der Thematische Arbeitsgemeinschaft Technik und Naturwissenschaft e.V.

Schon bald nach der grundlegenden Erfindung des Flächen-Transistors 1948 (siehe [4]) entwickelte sich in den 1950er Jahren schnell die damals noch ganz neue Halbleiter-Technologie. Zügig entstanden effektivere Verfahren und verfeinerte Prozesstechnologien zur besseren Herstellung von Bauelementen aus Germanium und Silizium.

Geräte, die viele elektronische Bauelemente benötigten, sollten jetzt kleiner und stabiler werden. Im Sommer 1958 realisierte Jack Kilby (1923-2005) bei der Firma Texas Instruments (TI) in USA den ersten integrierten Schaltkreis in Germanium (Physik-Nobel-Preis 2000 [6]).

Kilby's Prototyp eines Sinus-Signalgenerators (siehe mittleres Bild auf Marke rechts) bestand aus 3 Widerständen, 1 Transistor & 1 Kondensator integriert in einem 5x11 mm großen Ge-Kristall-Plättchen (vgl. [1],[2],[3]). Erst 1964 wurde ihm sein 1959 angemeldetes US-Patent (no.3138743) als Co-Erfinder des IC erteilt.

Die *Marshall Inseln* 1999 /MiNr.1169/ würdigten Kilby und dessen frühe Erfindung als bedeutendes Jahrhundert-Ereignis der 1950er Jahre.



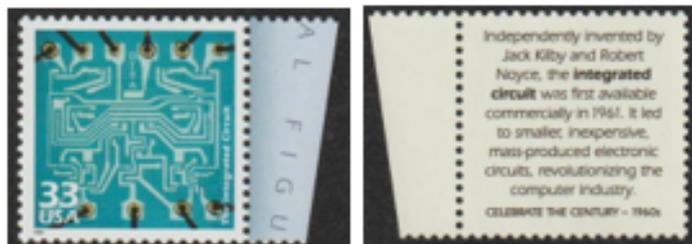
Links ein AFS der deutschen Firmen-Zentrale in Freising.

Ab 1966 setzte das Unternehmen Texas Instruments monolithisch integrierte Halbleiter-Schaltungen in ihren berühmten Taschenrechner-Produkten ein.



Bereits 1961 hatte Robert Noyce (1927-1990), einer der Gründer des Unternehmens Fairchild Semiconductor, ein US-Patent (no.2981877) auf seine Erfindung des monolithisch integrierten Silizium-Schaltkreises erhalten [7].

Vorderseite und Rückseite derselben Marke



USA 1999 /MiNr.3180/

Die amerikanische Ausgabe aus dem Kleinbogen zur Feier des 20. Jahrhunderts thematisiert für die 1960er Jahre die kommerzielle Einführung und Verfügbarkeit des Integrated Circuit (IC).

Bei herkömmlichen „gedruckten“ Schaltungen auf Leiterplatten (PCBs = printed circuit boards), vgl. z.B. den Artikel von W. Mattke [3] bzw. die elektrischen Leiterbahnen des Elektronikbaums [5], sind diskrete elektronische Bauelemente mit ihren separaten Gehäusen & individuellen Drahtanschlüssen, z.B. Transistoren, Dioden, Widerstände, Kondensatoren oder Induktivitäten eingelötet. Im Gegensatz dazu wird für die hier gefeierten monolithisch integrierten Schaltungen das Halbleitermaterial selbst (z.B. eine strukturierte Silizium-Kristall-Scheibe, der sog. Wafer) für die gemeinsame Realisierung verschiedener Bauelementfunktionen in einem einzigen „Chip“ genutzt.

Der Halbleiter-Chip dient zudem gleichzeitig als miniaturisierter Verbindungs-Träger für die planare Verdrahtung vieler Komponenten untereinander zu einer komplexen und dabei sehr kompakten Schaltung. Vor allem die Entwicklung von Silizium-Planar-Transistoren ebnete den erfolgreichen Weg hin zu dieser revolutionären IC-Technologie. Man erreicht kostengünstig mit weniger Aufwand eine sehr hohe Integrationsdichte. Metallische Anschlussflächen (Pads) für die externen Ein- und Ausgangssignale der gesamten Schaltung ermöglichen mittels Bondtechnik die Drahtverbindungen nach außen zu den Löt-Pins herzustellen. Noch kompaktere IC-Montage erreicht man heute mit oberflächenmontierten („SMD“) Chips und Ball Grid Array (BGA)-Techniken.

*Maximum-Karte mit der Ausgabe Frankreich 1981 /MiNr.2245/*



Die hellblaue französische Marke (unten) zeigt den mikroskopischen Blick auf einen strukturierten Halbleiterwafer, mit integrierten Schaltungen aus der Mikroelektronik Forschung am Nationalen Forschungszentrum der Telekommunikation (CNET) in Meylan nahe Grenoble

*Schweden 1984 /MiNr.1286/*



Chip im genormten DIL-Gehäuse, Schaltungs-Layout im Hintergrund

*Frankreich 1995 /MiNr.3079*



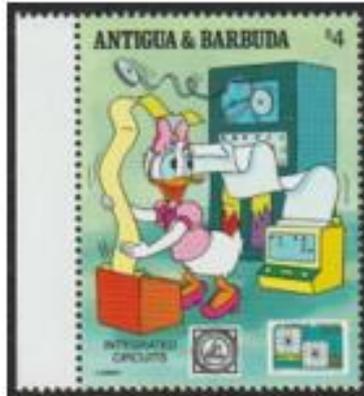
100 Jahre Hochschule für Elektrotechnik; Rotes IC-Symbol neben einem Satelliten, sowie Parabolantenne und TGV-Zug

Die künstlerische Illustration in der Bildmitte der französischen Maxi-Karte zeigt - ähnlich zu dem Bild der japanischen IC-Marke auf der nächsten Seite - einen aus dem großen runden Halbleiter-Wafer herausgetrennten IC-Mikrochip (hier schwarz gezeichnet). Er ist montiert auf einem Montagesockel (weiß) mit makroskopisch aufgeweiteten, herausgeführten Kontaktierungsanschlüssen. Die Form solcher elektrischen Außenanschluss-Pins für ICs wurde später standardisiert bzw. genormt. So entstand zunächst die klassische Form des DIL-Gehäuses (Dual In Line Package [8]), wie auf der schwedischen Marke (oben rechts) zu sehen. Das IC-Motiv mit den 2 parallelen Reihen von elektrischen Außen-Kontakten findet man auf vielen Markenausgaben wieder, wie einige in diesem Beitrag vorgestellte Beispiele verdeutlichen.

Nicht nur im amerikanischen „Silicon-Valley“, sondern auch in Japan hat die Herstellung von integrierten Schaltungen bekanntermaßen eine lange Tradition. Anlässlich des 8. Welt-Computer-Kongresses sowie des 3. Weltkongresses über medizinische Informatik, beides 1980 in Tokyo, wurde eine 50 Yen Briefmarke mit dem Motiv eines einfachen IC herausgegeben, der damals allerdings noch nicht im genormten DIL-Gehäuse montiert war.

Japan 1980 /MiNr.1440/

Hier rechts die Mustermarke  
(mit Überdruck MIHON)



Das gleiche japanische Markenmotiv mit den IC-Illustrationen erschien 1989 noch einmal auf einer Disney-Ausgabe zur Förderung der Philatelie: „Stamp on Stamp“.

Antigua & Barbuda 1989  
/MiNr.1279/



Die nachfolgend gezeigte Präsentationskarte für die japanische Ausgabe /MiNr.1440/ von 1980 (etwas verkleinert) beinhaltet einen Metallstich des ursprünglichen Markenentwurfs (rechts unten).



Im Rahmen einer gezielt angelegten Propaganda-Aktion griff die DDR-Post das Motiv einer elektronisch integrierten Halbleiterschaltung mit elektrischen Anschluss-Kontakten im DIL-Format auf mehreren Briefmarken-Ausgaben auf, um die technische Leistungsfähigkeit des Arbeiter- und Bauern-Staates zu demonstrieren: Die Ausgabeanlässe für die im Folgenden gezeigten Marken waren 1983 „Leipziger Herbstmesse“, 1984 „35 Jahre Feier“ und 1985 „40. Jahrestag der Befreiung vom Faschismus“.



DDR 1983 / MiNr.2823/ Mikroelektronik-IC:  
(Unterrandstreifen mit Druckvermerk)

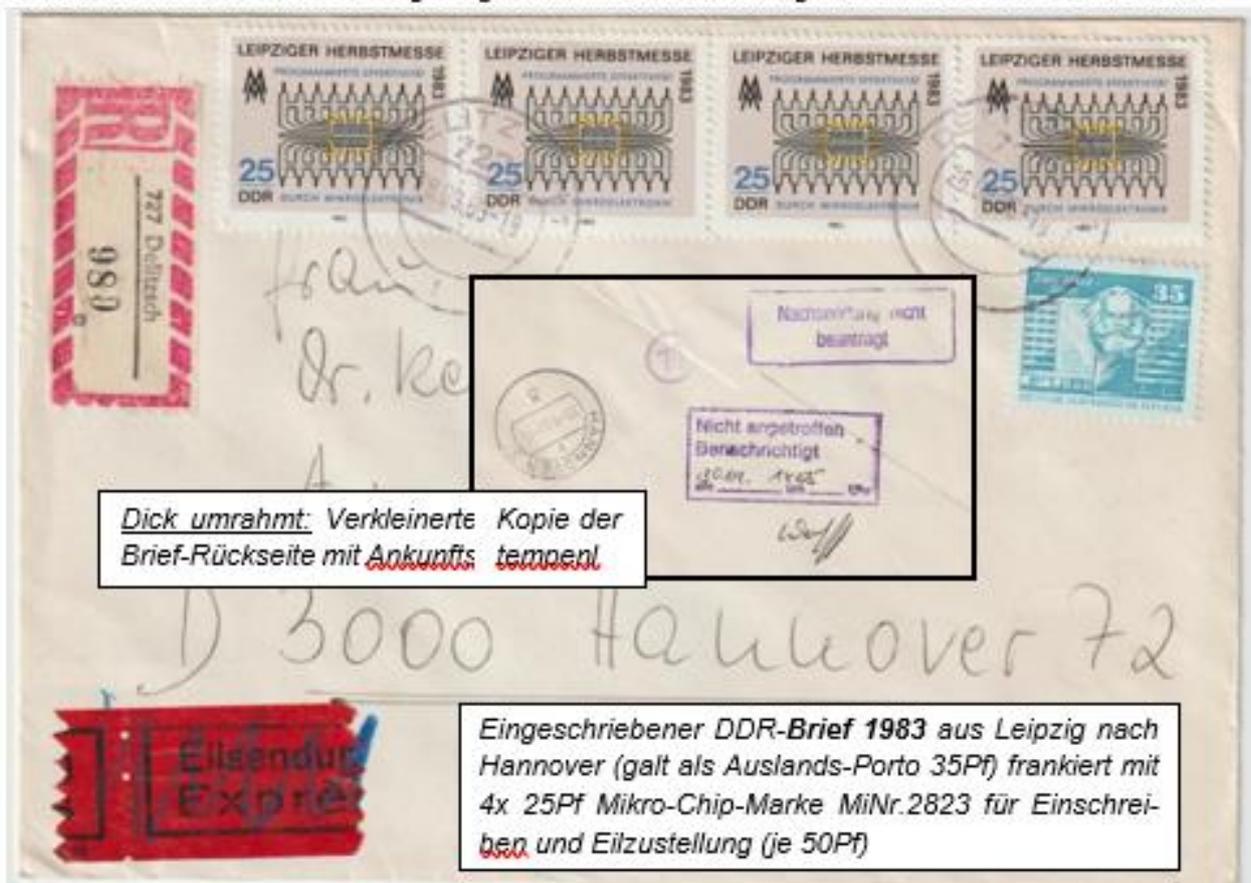


DDR 1985 / MiNr.2944/  
Wissenschaft und Technik, Arbeiterinnen  
inspizieren Mikroelektronik am Mikroskop  
(Ecke mit Druckvermerk)



DDR 1984 / MiNr.2889/  
IC vor einem Kohlebagger

Mehrfachfrankatur der links oben gezeigten Mikroelektronik-Ausgabe von 1983 auf Bedarfs-Brief:



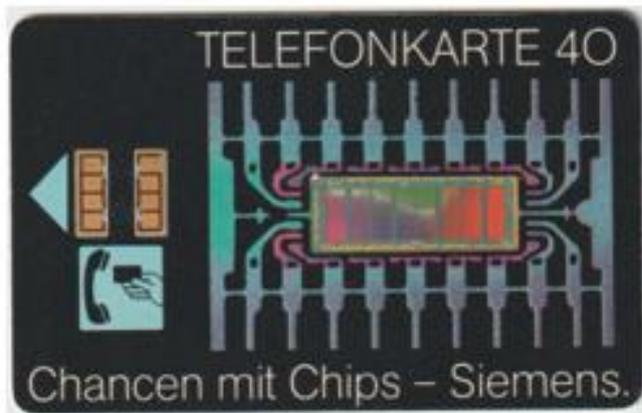
Dick umrahmt: Verkleinerte Kopie der Brief-Rückseite mit Anknüpfungsstempeln

Eingeschriebener DDR-Brief 1983 aus Leipzig nach Hannover (galt als Auslands-Porto 35Pf) frankiert mit 4x 25Pf Mikro-Chip-Marke MiNr.2823 für Einschreiben und Eilzustellung (je 50Pf)

Auch in der Bundesrepublik und Westberlin wurde anfangs das ungeheure Potential von integrierten Halbleiterschaltungen besonders durch die Firma SIEMENS vielfach publikumswirksam präsentiert.



Deutsche Telefonkarte K073 von 1990 bzw. AFS Berlin von 1984: **Chancen mit Chips**



Für eine westdeutsche Briefmarke mit entsprechendem Motiv reichte die Popularität der ICs hierzulande aber offenbar nicht aus - mir ist keine derartige Marke aufgefallen.

Kein Wunder, dass Investitionen in die sehr wichtige Produktion solcher IC-Bausteine immer mehr in andere Länder, besonders nach Asien abwanderte. Deutschland verlor leider trotz hervorragender Erfindungen und Forschungsergebnisse schnell den Anschluss an die bedeutende Halbleiter-Industrie.

Rechts (verkleinerte Abbildung):

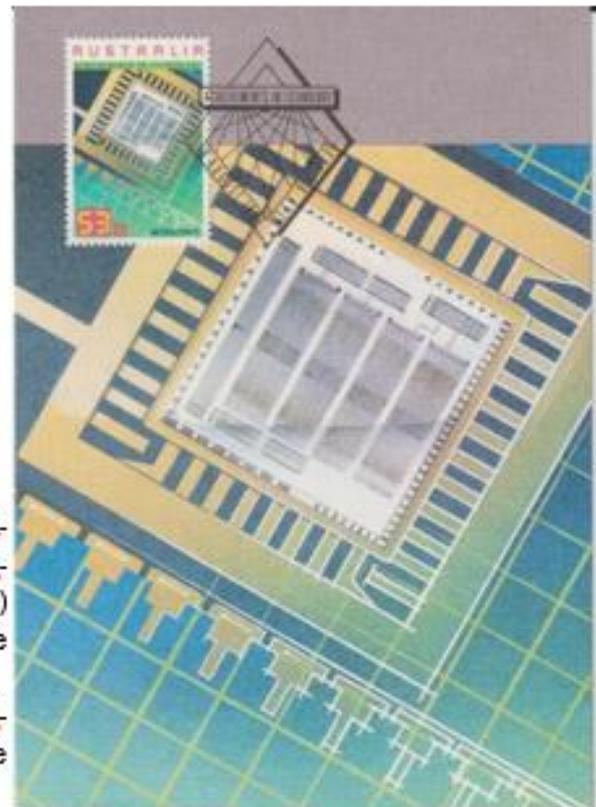
Maximum-Karte von **Australien** 1987 /MiNr.1052/ Zum Thema Integrierte Schaltungen (Mikrochip) als bedeutende Technologische Errungenschaft.



**Frankreich** 1986 /MiNr.2577/

Zum Jubiläum 100 Jahre Technische Ausbildung: Ein Mikrochip-Schaltungs-Entwurf entsteht zeichnerisch im Kopf

Aufgrund immer winziger gewordener Abmessungen der Bauelement-Strukturen innerhalb der integrierten Schaltungen ( $1/100 \text{ mm} = 10 \text{ Mikrometer}$ ) hatte sich im Laufe der ersten Entwicklungsjahre rasch der Begriff Mikroelektronik eingebürgert. Aktuell handelt es sich jedoch inzwischen um Strukturen der Dimension 10 Nanometer, man müsste also inzwischen von Nano-Elektronik sprechen.



Ein recht bedeutendes Einsatzfeld für die kompakten und robusten Halbleiter-Bausteine entwickelte sich mit der zunehmenden Verbreitung von elektronischen Rechnern, Steuerungen und Computern. Noch bis Anfang der 1970er Jahre boten dafür als binäre Datenspeicher magnetische Ferritkern-Anordnungen den günstigsten Preis pro gespeichertem Bit. Seit 1963 hatte jedoch die erfolgreiche Entwicklung von Halbleiter-Speicherelementen bereits begonnen [9]. Dies führte schließlich zu den PC-Arbeitspeichern, die wir heute alle benutzen.

## RAM-Speicher-Bausteine

Random Access Memory (RAM) Elemente [10],[11] sind „Flüchtige“ Arbeitsspeicher für kurzzeitigen, schnellen (<100ns) Schreib-/Lese-Zugriff. Sie ermöglichen wahlfreien, d.h. direkten Zugriff auf beliebige Speicherzellen, und werden in jedem Datenverarbeitungssystem benötigt. Die zu speichernde Information ändert sich häufig und muss sehr schnell zugänglich sein. Die gespeicherte Information geht allerdings bei fehlender Betriebsspannung wieder verloren. Ursprünglich diente als kleinste RAM-Speichereinheit mit 2 stabilen Zuständen, eine bistabile Kippstufen-Schaltung (Flipflop) mit mehreren Transistoren. In verbesserten DRAM-Speicherzellen (1C1T) genügt dafür ein MOS-Kondensator und 1 einziger MOS-Feldeffekttransistor.

### Deutschland 2003 /MiNr.2332/

Die Ausgabe „100 Jahre Deutsches Museum“ zeigt neben einem Zahnrad (links) und dem Porträt des Museums-Gründers Oskar von Miller (Mitte) auf der rechten Seite die Aufsicht auf eine historische Silizium-Scheibe (Wafer) mit einer Vielzahl von damit hergestellten 1 Megabit Speicher-Chips.



### Übersicht zur Entwicklungsgeschichte der RAM-Speicher-ICs:

Heute ist Südkorea einer der wichtigsten Exporteure der RAM-Speicher Industrie. Größte Produzenten sind die Firmen „Samsung Electronics“ und „SK Hynix“.



### Südkorea 2019 /MiNr.3439/

Jahr	Bezeichnung	Anmerkungen	Kapazität
1963	SRAM	Statisches Random Access Memory, erstes Fairchild-Patent	
1965 bis 1976	Bipolare SRAMs	„Schnelle“ Speicher-Logik ICs basierend auf TTL oder ECL-Technologien. 1965: 8bit, 1969: 128bit, 1971: 256bit, 1976 1024bit	Bis 1kbit
Ab 1968	DRAM (asynchron)	Dynamisches Zeittakt-Schema für RAM, Speicherzellen mit 6 bis 3 p-Kanal MOS-FETs pro Bit,	Bis 2kbit
1973	DRAM	n-Kanal MOS-FETs, 16 pin-Gehäuse ionenimplantierte Widerstände	4kbit
1976	DRAM	Speicherzellen aus MOS-Kondensator mit nur 1 Transistor	16kbit
1980	DRAM	Speicher-ICs jetzt wirtschaftlicher & zuverlässiger als Magnetkernspeicher	64kbit
Ab 1986	DRAM „MegaChip“	IBM Böblingen, 1 Million Speicherzellen, CMOS bzw. Stapelgate, auch SIEMENS /Toshiba, VEB Mikroelektronik etc.	1Mbit
1993	SDRAM	Synchrones DRAM (Single Data Rate)	16Mbit
1998	DDR-SDRAM	Double Data Rate SDRAM (benutzt steigende und fallende Pulsflanken)	256Mbit
2003 - 2023	DDR2 bis DDR5	2007: DDR3 2014: DDR4 2021: DDR5	512Mbit - 32Gbit

Für PC-Arbeitsspeicher werden mehrere höchstintegrierte SDRAM-ICs in FBGA-Technik (Fine pitch Ball Grid Array) auf steckbare Dual Inline Memory Module (DIMM) gelötet. Beispielsweise stecken in meinem PC, mit dem dieser Artikel geschrieben wurde, zwei Exemplare eines DDR4 DIMM-Moduls mit je 8 Gigabyte Gesamtkapazität. Die Einzelkapazitäten bzw. Bestückungsanzahl der dafür benutzten individuellen SDRAM-chips (sind es z.B. einige 512Mbit oder 1Gbit Bausteine?) bleiben durch die intransparente Ummantelung der Module leider verborgen.

## ROM-Speicher-Bausteine

Auch zur nahezu dauerhaften („nichtflüchtigen“) Ablage von Digitalen Informationen, die bei fehlender Betriebsspannung erhalten bleiben muss, dienen heute in zunehmendem Maße Halbleiterspeicher-Elemente. Diese Speicher mit fest abgelegten Daten werden als Read Only Memory (ROM) bezeichnet [12],[13]. Seit Einführung der NAND-Flash-Technologie sind solche ROM- Speicher blockweise löscht- bzw. programmierbar. Im Vergleich zu RAM sind bei ROM die Zugriffszeiten deutlich langsamer (<250µs). Eine kleine Übersicht zur rasanten historischen Entwicklung vom starr „verdrahteten“ kleinen Lesespeicher bis zur Multi-Gigabyte-SSD-Festplatte ohne bewegliche Teile (Solid State Drive) habe ich in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Der zu dieser ROM-Kategorie zählende, sehr beliebte USB-Stick (Erste Produkte stammten von der Fa. „M-Systems“ aus Israel) hat es sogar auf 2 Markenausgaben als schönes Motiv geschafft.

Jahr	Bezeichnung	Eigenschaften	Kapazität
1965	ROM	Read Only Memory, auslesbare Daten unveränderbar im IC eingepreßt beim Fertigungsprozess	256Bit bis 1kBit
1970	PROM	Programmierbares ROM, Nutzerdaten permanent 1x einbrennbar	1kBit
1971	EPROM	Erasable PROM, (z.B. durch UV-Licht) löscher, d.h. wiederbenutzbar	2kBit
1976	EEPROM	Elektrisch löscherbares EPROM	16kBit
1987	Flash-EEPROM	Schneller programmierbares (NAND) EEPROM, Seiten- bzw. blockweises Löscher, Schreiben und Auslesen	1MB
1995	Flash-Drive	Produkt „DiskOnChip (DoC)“ in der Kombination mit Software TrueFFS	32MB
2000	USB Flash Drive	Produkt „DiskOnKey“: Flash-Drive und Controller in Plastikgehäuse mit USB-Anschluss für PC (USB-Stick)	8 bis 512MB
Ab 2001	SD-Karten und Solid State Drive (SSD)	NAND-Flash-Speicherkarten z.B. SD, microSD und SSD- „Festplatten“ Teilweise Multi Level Cell Technol.	1-2GB
Ab 2007	3D Flash IC gestapelt	Noch höhere Kapazität durch Einsatz von vertikal gestapelten Chips (Wafer Bonding) in einem 3D-IC	16 bis 128GB
Ab 2013	V-NAND Flash	Einsatz optimierter Speicherzellen mit vertikal angeordneten Ladungsfällen	256GB bis 1TB
Ab 2017	V-NAND gestapelt	Kombination aller verfügbaren neuesten Technologien: Multi-Level-Cell, 3D-Stapel & Charge Trap (V-NAND)	Bis > 4TB



Israel 2009 /MiNr.2081/ USB Flash Drive



Griechenland 2013 /MiNr.2737/ Digitale Post

Flash-Speicherzellen verwenden Feldeffekt-Transistoren mit zusätzlichem isoliertem „Floating-Gate“, das die elektrische Ladung festhält, und somit die binär codierte Information. Moderne besonders kompakte Typen nutzen vertikal eingebaute Spezialschichten zum Ladungseinfang an Haftstellen (Charge-Trapping). Eine Speicherzelle mit 1 Floating-Gate-Transistor genügt um 1 Bit zu setzen (Single Level). Mit neuester Flash-Technologie werden in einem einzigen Transistor über mehrere Spannungsniveaus sogar schon 2 bis zu 5 Bit pro Zelle gespeichert (Multi Level Cell). Neben diesen z.B. in SD-Karten verwendeten gängigen NAND-Versionen gibt es für spezielle Anwendungen auch NOR-Flash-Speicher, auf die ich hier nicht näher eingehen kann.

### Mikrocontroller

1971 wurde von der Firma Texas Instruments mit dem TMS1000 erstmals ein kleiner Digitalrechner-Baustein, vorgestellt, der einige Tausend Transistoren enthielt, und sowohl ein Rechenwerk (den Prozessor), als auch RAM sowie ROM-Speicher Elemente neben weiteren Funktionen wie Zeitgeber und Ein- / Ausgabe Schnittstellen in einem einzigen IC integrierte [14].

Eingebettete Mikrocontroller-ICs als Ein-Chip-Computer mit anwendungsspezifisch kleinem Funktionsumfang und bescheidenem Speicher finden sich heute noch massenhaft in zahllosen Geräten des Alltags (z.B. Waschmaschinen, Chip-Karten, Unterhaltungselektronik, Telefone, usw.).

### Mikroprozessoren

In flexibel programmierbaren Computern für größeren Leistungsumfang wird der Hauptprozessor (Central Processing Unit CPU) als separate Einheit getrennt von Speicher und peripheren Funktionen realisiert. Der integrierte CPU-Chip wurde als sog. Mikroprozessor ebenfalls ab 1971 von der Firma Intel als Produkt herausgebracht [15]. Seit 2007 beinhalten aktuelle Mikroprozessoren oft mehrere parallel arbeitende Prozessor-Kerne.

Marke aus Millennium-Block (1950-2000)  
„1971 Der Mikroprozessor“



Sambia 2000 /MiNr.1095/

Tabelle mit historischen Beispielen von Mikroprozessoren für PCs

(Die Angaben sind weitgehend aus [15] entnommen)

Togo 2000 /MiNr.3074/



Zeitraum	Bezeichnung	Busbreite	Taktfrequenz	Transistoren
1971	Intel 4004	4 Bit	740 kHz	2300
1974	Intel 8080	8 Bit	2-3 MHz	6000
1978	Intel 8086	16 Bit	5-10 MHz	29000
1979	Motorola 68000	16 Bit	8-20 MHz	68000
1982	Intel 80286	16 Bit	6-16 MHz	134000
1985	i386DX	32 Bit	16-33 MHz	275000
1989	i486DX	32 Bit	25-50 MHz	1,2 Millionen
1994	Pentium	64 Bit	75-200 MHz	3,2 Millionen
1999	Pentium III	64	0,1-1,1GHz	28 Millionen
2004	Pentium 4	64	2,8-3,6 GHz	125 Millionen
2008	Intel Core i7	3x64	2,6-3,3 GHz	731 Millionen
Ab 2009	Core i7/i5/i3	64	3,2-4GHz	>1 Milliarde
Ab 2017	Core i9/i7/i5/i3	64	3,5-5,3GHz	einige Milliarden
Ab 2017	AMD Ryzen7/5/3	64	3,6-4,3GHz	einige Milliarden

Die Angaben von hunderten von Millionen bis zu vielen Milliarden Transistoren wird seit etwa 2010 von den Halbleiterherstellern nicht mehr, wie in der Anfangszeit genau veröffentlicht. Stattdessen nennen die Unternehmen nur noch ihre proprietären Prozess-Knoten-Technologien mit einer gewissen Strukturgröße in nm. Etwa seit 2014 produziert Intel seine Chips mit 3D Fin-FET-Transistoren (22nm). Derzeit 2023 ist vermutlich ein 10nm Prozess im Einsatz. 2024 sollen noch kleinere Strukturen mit GAA-FETs folgen (vgl. Transistor-Tabelle in [4])



Rumänien 2001 /MiNr.5606/

Mikroprozessor-Chips werden meist nicht direkt in die PC-Leiterplatte gelötet, sondern man verwendet spezielle Kontakt-Sockel, die eine leichtere Austauschbarkeit erlauben. Anfänglich wurden dieselben DIL-Gehäuse (vgl. Mikroprozessor-Abbildung auf der rumänischen Ausgabe links) wie für simple Logik-ICs verwendet, aber die Zahl der Pins stieg schnell von 16 auf bis zu 64 (wie z.B. beim Motorola 68000).



Israel 2010 /MiNr.2106/

Weltausstellung EXPO in Shanghai: Erfindungen aus Israel, die die Welt veränderten

Wegen zunehmender Komplexität, höherer Taktfrequenzen usw. mussten danach speziellere, meist quadratische Prozessor-Gehäuse und Sockel entwickelt werden. Hier sind die Kontakte in einem Raster angeordnet (Pin Grid Array PGA).



Gabun 2000 /MiNr.1504/

Mit den i486-Prozessoren (168 bis 237 Pins) stieß man an eine neue Grenze der Handhabbarkeit, da die erforderlichen Kräfte beim Ausziehen oder Einstecken in den Sockel zu groß wurden (1-2 N Einpresskraft pro Pin), was oft zu Beschädigungen führte [16]. Daher wird bei aktuelleren Bauformen der PC-Sockel mit einem Hebel bzw. entriegelt, so dass der Prozessorchip ohne Kraftaufwand eingesetzt werden kann (Zero Insertion Force ZIF). Andere Techniken basieren z.B. auf federnden Kontaktstiften (Land Grid Array LGA) oder es werden Oberflächen montierte (SMD) Flip-Chip gelötete (Ball Grid Array BGA) Anordnungen eingesetzt.



Irland 2020 /MiNr.AT126/

Die Automatenmarke aus der Serie „A history of Irland in 100 objects“ zeigt das Bild von einem Intel Pentium Mikro-Prozessor aus dem Jahr 1994

### Integrierte Schaltungen für Alle

Ob Mobiltelefone, elektronische Musikinstrumente, PCs, Laptops oder z.B. auch für Satellitenkommunikation: Die starke Halbleiter-Industrie von Taiwan produziert und liefert dafür nötige ICs in großen Stückzahlen in die ganze Welt. Ausgangspunkt für ihre Massenproduktions-Stärke war seit Mitte der 1970er Jahre eine energische Unterstützung und anhaltende Förderung durch die taiwanesisische Regierung, so lange bis der ursprünglich vorhandene technologische Flaschenhals überwunden werden konnte.



Taiwan 1997 /MiNr.2390/ und /MiNr.2389/

1987 wurde die Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) gegründet. Sie ist Pionier und Vorreiter des Geschäftsmodells der weltweiten Halbleiter-Auftragsfertigung (Global Foundry).

Von den in USA im Silicon-Valley entstandenen bedeutenden Halbleiter-Herstellern konnte sich hauptsächlich die 1968 von den ehemaligen „Fairchild“-Mitarbeitern Noyce und Moore gegründete Firma „Intel“ dauerhaft an der Spitze halten; sie entwickelt, produziert und vermarktet ihre ICs nach wie vor selbst. Die meisten anderen fokussieren sich auf Spezialentwicklungen und lassen oft als „Fabless-Unternehmen“ ausschließlich bei Auftragsfertigern in Korea oder Taiwan produzieren. In ganz Europa werden lediglich 10% der Halbleiter produziert [17].

### Referenzen:

#### Artikel der thematischen Philatelie

- [1] Fabio Serra, Elosi: „Chip that Changed the World“ in Topical Times (ATA) 52, (4), S.21-24 (2001)
- [2] Fabio S. Flosi: „50 Years of the Integrated Circuit – The chip that changed the world“ in PHILATELIA CHIMICA ET PHYSICA 30, (4), S.146-161 (2008)
- [3] Wolfgang Matzke: „Die Integrierte Schaltung“ in Techno-Thema 67, S.21-27 (2012/2)
- [4] Michael Schilling „75 Jahre Transistor“ in Techno-Thema 98, S.16-23 (2022/3)
- [5] Michael Schilling „45 Jahre Elektronik-Baum“ in Techno-Thema 97, S.14-20 (2022/2)

#### Allgemeine Quellen

- [6] Jack Kilby: „Turning Potential into Realities: The Invention of the Integrated Circuit“ Physik-Nobelpreis-Rede 2000 <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2000/kilby/lecture/>
- [7] Wikipedia Stichwort „Robert Noyce“ [https://de.wikipedia.org/wiki/Robert\\_Noyce](https://de.wikipedia.org/wiki/Robert_Noyce)  
„Fairchild Semiconductor“ [https://de.wikipedia.org/wiki/Fairchild\\_Semiconductor](https://de.wikipedia.org/wiki/Fairchild_Semiconductor)
- [8] Wikipedia Stichwort „Dual in line package“ [https://de.wikipedia.org/wiki/Dual\\_in-line\\_package](https://de.wikipedia.org/wiki/Dual_in-line_package)
- [9] Computer History Museum (CHM): „Silicon Engine“-Meilensteine: [www.computerhistory.org/siliconengine/](http://www.computerhistory.org/siliconengine/)
- [10] Wikipedia Stichwort „Dynamic Random Access Memory“ [https://de.wikipedia.org/wiki/Dynamic\\_Random\\_Access\\_Memory](https://de.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Random_Access_Memory)
- [11] Torsten Thormählen: „Universität Marburg-Technische Informatik-Thema Speicher“: [https://www.mathematik.uni-marburg.de/~thormae/lectures/ti1/ti\\_8\\_1\\_ger\\_web.html#1](https://www.mathematik.uni-marburg.de/~thormae/lectures/ti1/ti_8_1_ger_web.html#1)
- [12] Wikipedia Stichwort „Flash memory“ [https://en.wikipedia.org/wiki/Flash\\_memory](https://en.wikipedia.org/wiki/Flash_memory)
- [13] Online Elektronik Kompendium: „Flash-Speicher“ <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/com/0311051.htm>
- [14] Wikipedia Stichwort „Mikroprozessor“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Mikroprozessor>
- [15] Wikipedia Stichwort „Liste der Mikroprozessoren von Intel“ [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Mikroprozessoren\\_von\\_Intel](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Mikroprozessoren_von_Intel)
- [16] Wikipedia Stichwort „Prozessorsocket“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Prozessorsocket>
- [17] Wikipedia Stichwort „Halbleiterhersteller“ <https://de.wikipedia.org/wiki/Halbleiterhersteller>

Artikel erschien:

"Techno-Thema"

Nr. 99 / April 2023