

Kap. 10 Sektorale Betrachtung IV: Halbleiterindustrie

Die Halbleiterindustrie (als Kern der Elektronikindustrie) gilt als

- a) „junge Industrie“ (möglicherweise eine Leitbranche des 5. Kondratieff),
- b) diejenige mit den weitreichendsten Wirkungen auf fast alle anderen Wirtschaftszweige.

Sie ist deshalb von besonderer technologie-, wirtschafts- und regionalpolitischer Bedeutung („Modell Silicon Valley“) und galt als Kern der sog. „*New Economy*“ (= Halbleiter-, Informations- und Kommunikationsindustrie).

Technische Basisinnovationen:

- 1) Erfindung der Vakuumröhre und des Radios um 1900;
= Beginn der Elektronikindustrie, zunächst aber noch wenig dynamisch;
- 2) Erfindung des Transistors in USA 1948;
Transistor = chemisch behandeltes Siliziumkristall, das als Halbleiter fungiert, d.h. dessen Leitfähigkeit für Elektrizität sich einfach und präzise steuern lässt.
Folge: Ersatz der Röhren durch Transistoren, z.B. in Radios.
- 3) Um 1960: Integrierte Schaltungen (*integrated circuits*), d.h. Kombination von Transistoren auf einem Silizium-Chip.
- 4) Um 1980: Durch Miniaturisierung der Chips Entwicklung von sog. „Mikroprozessoren“, d.h. de facto Computer auf einem fingernagelgroßen Chip.

Was ist ein „Halbleiter“?

Halbleiter sind Materialien, die eine Zwischenstellung zwischen elektrischen Leitern und Nichtleitern (Isolatoren) einnehmen. Reine kristalline Halbleiter sind die chemischen Elemente Germanium und Silicium, daneben weisen eine Reihe von Verbindungen wie Siliciumcarbid (SiC), Galliumarsenid (GaAs) oder Kupferdioxid (CuO₂) Halbleitereigenschaften auf. Durch sog. Dotierung kann die elektrische Leitfähigkeit eines halbleitenden Materials noch verbessert werden. Der Halbleitereffekt beruht auf der kristallinen Struktur der Materialien. In ihr sind die elektrischen Ladungsträger zunächst an die Atome gebunden, aus denen der Kristall aufgebaut ist. Bereits eine geringe Energiezufuhr, etwa in Form von Wärme, Licht oder einer von außen angelegten elektrischen Spannung bewirkt jedoch, dass sich diese Ladungsträger vom Atom lösen und weitgehend frei durch den Kristall bewegen können, womit aus dem elektrischen Nichtleiter ein elektrischer Leiter wird. Der Begriff „Halbleiter“ kennzeichnet somit die Fähigkeit, bei Zimmertemperatur zwischen nicht leitendem und leitendem Zustand zu wechseln.

Bei Halbleitern kennt man zwei Arten von Ladungsträgern, die man mit n (für negativ) und p (für positiv) bezeichnet. Negative Ladungsträger sind Elektronen, die positiven Ladungsträger sind dagegen Leerstellen im Kristall, sog. Löcher, in denen ein Elektron fehlt und die sich nach außen verhalten wie ein positiv geladenes Elektron. Löcher können auch wie reale Teilchen wandern, indem nämlich ein Elektron in eine Leerstelle nachrückt, die neue Leerstelle von einem weiteren Elektron aufgefüllt wird usw. Je nach vorherrschendem Ladungstyp spricht man auch von n- bzw. p-Halbleitern. Bringt man ein n-leitendes und ein p-leitendes Material in unmittelbaren Kontakt, so erhält man eine Halbleiterdiode (Diode). Diese verhält sich aufgrund von bestimmten quantenelektrischen Ausgleichseffekten genauso wie eine klassische Röhrendiode, sie lässt also elektrischen Strom nur in einer Richtung passieren. Drei Halbleiterschichten (pnp oder npn) bilden einen Transistor, das Halbleitergegenstück einer Triode. Mit diesem kann man einen an den beiden äußeren Schichten anliegenden Strom (bzw. eine Spannung) mithilfe einer an der mittleren Schicht angebrachten Elektrode regeln. Halbleiterdioden und Transistoren sind die Grundbausteine jeder mikroelektronischen integrierten Schaltung (IC, Chip). Moderne Prozessoren enthalten viele Millionen Transistoren.

Was ist ein „Chip“?

Engl. Wort für „Schnipsel“ oder „Splitter“; integrierter Schaltkreis (*integrated circuit* = IC) auf einem dünnen Halbleiterplättchen, auf dessen einer Seite Schaltungselemente (z.B. Transistoren, Widerstände) sowie die Anschlüsse zusammengefasst (integriert) sind. Die Fläche eines solchen integrierten Schaltkreises liegt zwischen $0,2 \text{ mm}^2$ und rund 200 mm^2 , die Dicke bei etwa $0,1 \text{ mm}$ und weniger. Der zugrunde liegende Halbleiterschnipsel ist fast immer ein Siliziumkristall, die Chip-Herstellung erfolgt heute vollautomatisch und in großem industriellem Maßstab.

Der Chip wurde 1958 von dem Ingenieur Jack Kilby bei Texas Instruments erfunden. Kilby integrierte auf fotochemischem Weg einige Transistoren und Widerstände. Seit 1965 ersetzen Chips in Computern die früheren nicht integrierten Schaltungen. Die Zahl der Schaltelemente auf einem Chip erhöhte sich in der Folgezeit ständig (sog. Mooresches Gesetz), wobei diese Entwicklung noch lange nicht abgeschlossen ist. Anfang der 1970er-Jahre wurden bereits viele Tausend Transistoren auf einem Chip zusammengeschaltet und mit solchen Chips die ersten Mikroprozessoren hergestellt. Mitte der 1980er-Jahre überschritt die Transistorenzahl die Millionengrenze und heute bieten die leistungsfähigsten Chips fast 100 Millionen Transistorfunktionen an. Die fortwährend anwachsende Zahl von Schaltelementen auf einem Chip ging mit einer stetigen Miniaturisierung einher. So benötigt ein moderner Chip mit vielen Millionen Transistoren nicht mehr Platz als ein einziger Transistor in den 1950er Jahren. Diese Miniaturisierung führt neben der kompakten Bauweise außerdem zu einer Geschwindigkeitssteigerung, da die Wege innerhalb und zwischen den Bauelementen sich verkürzen.

Bei der Herstellung eines integrierten Schaltkreises verwendet man als Substrat meist einkristalline 20 bis 30 cm große Scheiben aus einem „dotierten“ Halbleitermaterial (meist Silicium), sog. **Wafer** (engl. für Oblate, Waffel). Auf den Wafer werden die Strukturen der herzustellenden Halbleiterbauelemente aufgebracht, schließlich wird er in einzelne Chips zurechtgesägt. Im Einzelnen beschichtet man zunächst den Wafer mit Schichten bestimmter Leitfähigkeit sowie mit nicht leitenden Schichten aus Siliciumdioxid. Die oberste Schicht ist ein Fotolack. Die eigentlichen Chip-Strukturen erzeugt man dann durch Fotolithographie. Dieses Verfahren verwendet Masken (Fotomasken) des Schaltplans, die jeweils bestimmte Bereiche abdecken oder frei lassen. Die freien Stellen werden mit sehr kurzwelliger Strahlung (tiefes Ultraviolettlicht oder Röntgenstrahlung) belichtet, was den Fotolack löslich macht. An unbelichteten Stellen härtet er aus. Der lösliche Lack lässt sich dann wegätzen. Die nun frei liegenden tieferen Schichten können durch Ionenbeschuss gezielt dotiert werden, etwa, um Transistoren zu erzeugen. Anschließend werden durch Bedampfen Leiterbahnen aus Aluminium oder Kupfer sowie Isolationsschichten aufgebracht. Belichtung und Bedampfung benötigen oft mehrere Stufen. Nachdem die einzelnen Chips herausgeschnitten sind, werden sie mit Anschlüssen versehen und in ein Gehäuse gesetzt. Daran schließt sich eine Funktionsprüfung an.

Die gesamte Chip-Herstellung erfolgt in sog. Reinräumen bzw. Reinsträumen, die gewährleisten, dass keine Fremdkörper wie Staubkörnchen oder Blütenpollen in Wafer oder Chip eindringen und sie verunreinigen, so dass sie unbrauchbar würden. Reinräume werden hermetisch von der Außenwelt abgeschottet und unter leichtem Überdruck gehalten, so dass im Falle eines Lecks Fremdkörper nicht eindringen können. Die Beschäftigten in Reinräumen tragen Schutzanzüge, Kapuzen, Gesichtsmasken und Handschuhe sowie antistatische Schuhe, um Verunreinigungen durch Hautschuppen, Haare usw. auszuschließen und um Gefährdungen durch statische Elektrizität zu vermeiden. Durch die fortschreitende Miniaturisierung steigt die Gefahr von Verunreinigungen, so dass bei der Chip-Produktion der Anteil nicht funktionsfähiger Chips steigt, was wiederum durch erhöhte Reinraum-Anforderungen aufzufangen versucht wird.

Chips sind Hauptbestandteile von Computern, sie werden auf der Systemplatine oder auf einer Steckkarte entweder in vorgesehene Sockel gesteckt und sind dann austauschbar (RAM-Chips, Prozessor-Chips), oder sie sind fest auf die jeweilige Platine gelötet (z.B. bei Grafikkarten). Zunehmend finden Chips Verbreitung in verschiedensten elektronischen Geräten wie Handys, Kameras oder Waschmaschinen. Ursprünglich unterschied man nur zwei Arten von Chips, *Speicher-*

Chips, die zur dauerhaften oder vorübergehenden Speicherung von Daten dienen (ROM, RAM), und *Logik-* bzw. *Prozessor-Chips*, die Daten arithmetisch und logisch verarbeiten. Moderne Prozessoren mit ihren verschiedenen Funktionseinheiten enthalten sowohl Logik- als auch Speicher-elemente (Prozessor-Cache) und finden auf einem Chip Platz. Unter einem Grafik-Chip versteht man in erster Linie den Grafikprozessor einer modernen Grafikkarte. Heute werden darüber hinaus vor allem für Geräte der Unterhaltungs- und Gebrauchsgüterindustrie *maßgeschneiderte Chips* gefertigt, die alle für ein Gerät benötigten Funktionen vereinigen. Solche Chips enthalten gewöhnlich sowohl Speicher- als auch Logikelemente und werden speziell für den jeweiligen Einsatzbereich konzipiert (*Application specific integrated circuit* = ASIC).

Die dramatische Steigerung der Leistungsfähigkeit wird durch das soh. Moore'sche Gesetz beschrieben: Seit etwa 1970 gilt, dass sich die Leistungsfähigkeit der Prozessorchips alle 18, die Kapazität der Speicherchips alle 15 Monate verdoppelt. Alle sechs Jahre ergibt sich durch Kosten sparendere Verfahren eine Reduktion der Kosten pro gespeichertem Bit auf zehn Prozent. Wo liegen die Grenzen? Auf dem Speichersektor waren Ende der 1990er Jahre 16-Megabit-Speicher (DRAMs) in Massenproduktion. Ihre kleinsten Strukturbreiten liegen bei etwa 0,5 Mikrometern. Inzwischen befinden sich 64-Megabit-Chips mit 0,35 Mikrometer großen Strukturen in der Produktion und 256-Megabit-DRAMs mit 0,25 Mikrometer breiten Strukturen in der Vorproduktion. Die nächste Stufe umfasst Gigabit-Speicherchips mit Strukturen um 0,18 Mikrometer.

Die Grenzen der Lithographieverfahren liegen wohl bei etwa 0,1 Mikrometer Strukturgröße. Direktschreibverfahren mit Elektronen- oder Ionenstrahlen können zwar Strukturen unter 0,1 Mikrometern Breite generieren, arbeiten jedoch nicht parallel und damit sehr langsam. Aber auch die Natur der Elektronen beschränkt die Strukturgrößen, da sich bei Abmessungen unter zehn Nanometern sog. Quanteneffekte bemerkbar machen (diskrete Energieniveaus, Tunneleffekte und Quanteninterferenzen). Diese erfordern eine völlig neue Betrachtungsweise, könnten aber auch neue Bauelemente und Rechnerarchitekturen ermöglichen. Die sog. Nano-Technologie gilt deshalb z. Zt. als eine intensiv beforschte Zukunftstechnologie.

Für die praktische Anwendung der Elektronik sind verschiedene Prozesse wesentlich:

- a) Miniaturisierung; heute: Millionen von Schaltungen auf einem Chip von 1 cm²!
- b) Verbilligung; Produktion der Basiselemente (Speicherchips, Prozessoren, Standard-schaltungen) in hohen Stückzahlen als Massenware; der Hauptrohstoff Silizium ist ubiquitär! Preisverfall: z.B. Preis für 1 Speicher-Bit: um 1965: 50 \$, in den 1980er Jahren in einem 16k-RAM: 0.0005 \$ (d.h. Faktor 10.000!).
- c) Dadurch entstanden zahlreiche neue Anwendungsfelder: Haushaltselektronik, Unterhaltungselektronik, Computer, Autos, Medizintechnik, auch viele Industrien.
- d) Politische Relevanz: hohe militärische Bedeutung; große Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit zahlreicher Industriezweige. Die Elektronikindustrie gilt deshalb als sog. Schlüsseltechnologie, die über die volkswirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit mitentscheidet.

Die Wertschöpfungskette: Vgl. Fig. 12.1 (ist sehr vereinfacht)

A. Kern: Elektronische Komponenten, dabei besonders wichtig: *aktive Komponenten*:

- a) *Mikroprozessoren* (d.h. Prozessorchips),
- b) *Speicherchips* (*memory chips*).

Ein Chip besteht aus einer Kombination von vielen (Tausende bis Millionen) Halbleitern (Transistoren). Aus den Basiskomponenten werden *integrierte Schaltungen* gefertigt. Dabei kann wiederum unterschieden werden zwischen a) Standardschaltungen und b) anwenderspezifischen Schaltungen („ASICs“ = *application-specific integrated circuits*).

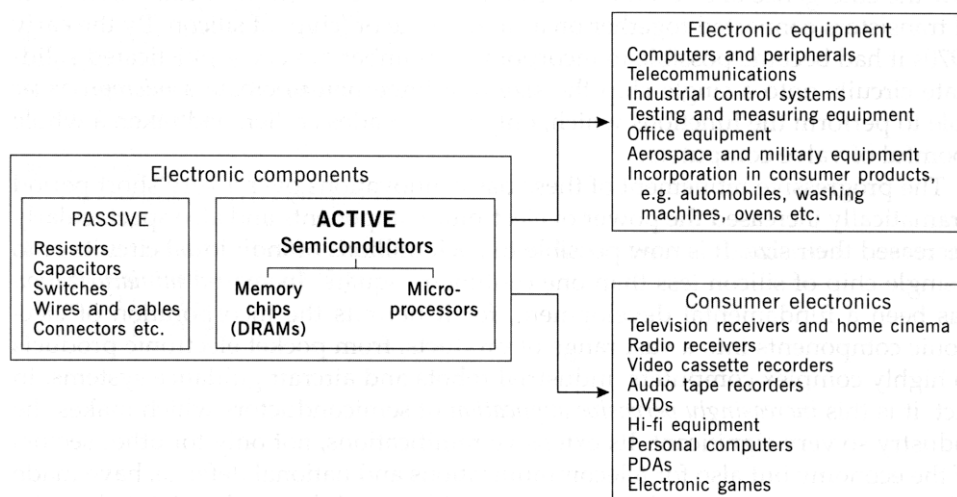


Figure 12.1 The position of semiconductors within the electronics production chain

Fertigungsstufen der IC (=Chip) - Herstellung:

1. Materialherstellung: Züchten von Siliziumkristallen, Zerschneiden in Scheiben (*wafer*),
2. Entwurf (*layout*) der Schaltung,
3. Front-End-Prozess: Unter Reinraumbedingungen werden die Schaltungen auf fotochemischem Wege auf die Wafer aufgebracht und versiegelt.
4. Back-End-Prozess: Montage, Anschließen und Verkapseln der Wafer zu Chips.

B. weite und heterogene *Anwendungsfelder*, die sich grob aufteilen lassen in

- a) „Industrieelektronik“ (Computer, Telekommunikation, Bürokommunikation, Autos, Industriemaschinen usw.),
- b) „Haushaltselektronik“ (Haushaltsgeräte, Fernseher, Video usw.).

Dabei werden die ICs je nach Verwendungszweck sowohl miteinander als auch mit sog. Peripheriegeräten kombiniert (z.B. PC) sowie in Geräte und Maschinen eingebaut (z.B. Werkzeugmaschinen, Autos).

Die volkswirtschaftliche Bedeutung dieser Innovation lässt sich am Beispiel Deutschlands aufzeigen: Die Halbleiter-(Chip-)Produktion hat einen Wert von ca. 7 Mrd €, diese fließen in elektronische Geräte und Systeme im Wert von 44 Mrd €, diese werden eingesetzt in Industriezweigen wie Maschinen- und Fahrzeugbau, Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik sowie Datentechnik im Wert von 475 Mrd €. Das bedeutet: Ein Viertel des deutschen BSP (1,9 Bill. €) geht auf die mikroelektronische Wertschöpfungskette zurück.

Geographie der Produktion der sog. „aktiven Komponenten“ (d.h. insb. der *Chips* und integrierte Schaltungen): vgl. Fig. 12.3.

In den 1950er bis 1970er Jahren: Dominanz der USA; dann wurde Japan führend. 1996: 1. Japan, 2. USA, 3. Korea, 4. Malaysia, 5. Singapur, 6. Taiwan, 7. D, 8. F, 9. UK usw.

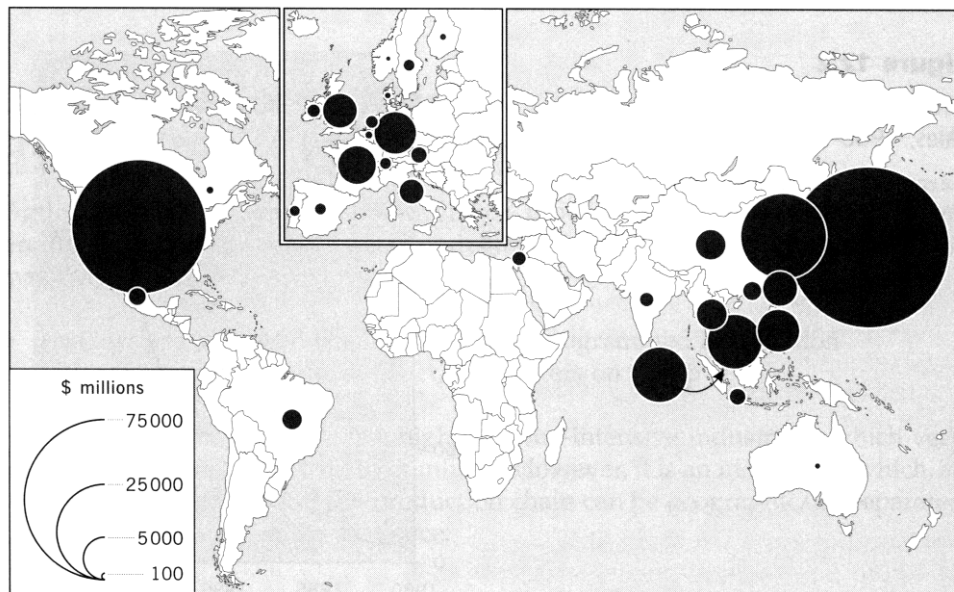


Figure 12.3 World production of active electronic components

Source: Based on data in *Yearbook of Electronic Data*, 1996. New York: Elsevier Advanced Technology

In den letzten Jahren gab es aber große Verschiebungen. Nach Angaben der *World Semiconductor Trade Statistics* fiel Japan zurück, während die europäischen Länder aufholten: 1998/99: 1. USA, 2. Westeuropa, 3. SE-Asien, 4. Japan.

Handel mit aktiven Elektronik-Komponenten:

Hoher Exportüberschuss Japans mit 18 Mrd \$, dagegen Importüberschüsse der USA und der EU in Höhe von je 8-10 Mrd \$. Darüber hinaus haben auch die ostasiatischen NICs hohe Exportüberschüsse.

Standorte der Chip-Produktion: zunehmende Aufspaltung zwischen Standard-Chips und ASICs. Die Produktion von Standard-Chips wird zunehmend von Japan und den USA in die NICs (insb. Ost- und Südostasien, aber auch Mexiko und Karibik) sowie in die europäische Peripherie, insb. Irland, verlagert.

Dagegen bleibt die Produktion von ASICs in den High-Tech-Zentren wie im *Silicon Valley* in Kalifornien konzentriert. Allerdings ist das Silicon Valley heute nicht mehr dominant, daneben sind auch andere Zentren in den USA wie Colorado, Oregon, Utah, Massachusetts usw. entstanden. Europa: Süddeutschland („*Munichon Valley*“), Dresden, Raum Lyon-Grenoble, England: London-Reading-Bristol, aber auch Schottland.

Haushalts- oder Konsumelektronik:

Im Vergleich zur Industrieelektronik hat sich die Haushaltselektronik in den letzten Jahren deutlich weniger dynamisch entwickelt.

Geographie der Produktion bei der Haushaltselektronik:

Rangfolge: 1. Japan, 2. VR China, 3. Malaysia, 4. USA (Bei Standardgeräten wie Fernsehern ist die VR China bereits Nr. 1).

Handel mit Haushaltselektronik 1994: Die weltweit größten Exportüberschüsse haben Japan und Südkorea, ferner Singapur und Malaysia. Die größten Importüberschüsse haben die USA und die EU.

Fazit: Ostasien exportiert weltweit, insb. nach Nordamerika, zur EU und zu den Entwicklungsländern. Innerhalb Ostasiens wird allerdings die Produktion sukzessive von Japan in die NICs sowie nach China verlagert.

In der Haushaltselektronik hat es in den letzten Jahren kaum noch wesentliche Produktinnovationen gegeben. Die wichtigsten:

- Durchbruch der DVD (*Digital Versatile Disc*, auch *Digital Video Disc*) mit hoher Speicherkapazität (wichtig für Filme),
- digitale Kameras,
- Multimedia-PCs,
- Nutzung des Internet für Musik und Bilder, insb. Filme (setzt Multimedia-PCs und Breitbandanschlüsse voraus).

Eine unmittelbar vor der Realisierung stehende Vision: interne und externe (drahtlose) Vernetzung aller Haushalts-Elektronikgeräte: PC, TV, Kamera, DVD-Spieler, Spielkonsole. Der koreanische Elektronikkonzern Samsung hat im Sommer 2003 mit „Nexus“ ein erstes System auf den Markt gebracht. Philips präsentiert „Streamium Linx“ und Sony „Network Media Receiver“.

- Probleme:
- kein gemeinsamer Standard, d.h. die Peripheriegeräte unterschiedlicher Fabrikate sind i.d.R. inkompatibel;
 - Bedienerfreundlichkeit.

Experteneinschätzung (VDE-Studie Anfang 2000) der künftigen Entwicklung der globalen Halbleiterindustrie: Die Konsumelektronik verliert weiter Anteile; die Datentechnik bleibt mit 47 % wichtigstes Anwendungsfeld. Nordamerika bleibt Nr. 1 (ca. 1/3 der globalen Produktion), dahinter mit je 1/4: Ostasien (ohne Japan) und Europa; Japan verliert Anteile.

Einflussfaktor Nachfrage

Halbleiter sind Gegenstand der sog. „abgeleiteten Nachfrage“, d.h. sie werden nicht vom Konsumenten direkt nachgefragt. Es handelt sich vielmehr um „intermediäre“ Güter, die in anderen Zweigen der Volkswirtschaft verarbeitet werden. Früher war hier die Rüstungsindustrie besonders wichtig, heute stehen vor allem die Industrie- und (sekundär) die Haushaltselektronik im Vordergrund. Insbesondere die Datentechnik (Informations- und Kommunikationstechnologien) bleibt auch künftig das mit Abstand wichtigste Anwendungsfeld. Eine spezielle Stärke Deutschlands besteht darüber hinaus in der Autoelektronik.

Durch Verbilligung und Leistungssteigerung gab es explosionsartige Nachfragesteigerungen. Die Umsätze der globalen Halbleiterindustrie stiegen von ca. 50 Mrd \$ 1985 auf ca. 150 Mrd \$ Mitte der 90er Jahre.

Industrieelektronik: Die Nachfrage ist dort, wo die *advanced manufacturing industries* (insb. Elektrotechnik, Maschinenbau, Automobilbau) lokalisiert sind, d.h. vor allem in den Ländern der Triade.

Die Nachfrage nach Halbleitern wächst zwar im Trend, ist aber stark konjunktur reagibel (typisch für abgeleitete Nachfrage; gleiches Phänomen wie bei der Nachfrage nach Stahl). Diese Schwankungen führen dazu, dass die Halbleiter-Unternehmen in manchen Jahren die

Nachfrage kaum befriedigen können (Folge: hohe Preise, hohe Gewinne), in anderen Jahren ihre Produktionskapazität nicht auslasten können (Folge: Preisverfall, hohe Verluste). Dies spiegelt sich u.a. in stark schwankenden Börsenkursen wider (z.B. Infineon).

Haushalts- und Unterhaltungselektronik: Der wichtigste Faktor sind hier die Einkommen der privaten Haushalte, da es sich um Güter mit hoher Einkommenselastizität handelt. Allerdings treten immer wieder Marktsättigungen auf (TV, Hifi, Handy), so dass die Unternehmen versuchen, über Produktinnovationen den Markt zu erhalten. Derzeit (um 2000-03) fehlen bedeutende Produktinnovationen, so dass Prozessinnovationen dominieren und zu harter Preiskonkurrenz und sinkenden Gewinnmargen führen.

Faktor technischer Fortschritt und Produktionskosten

Halbleiter:

Insb. bei den Speicherchips gab es enorme Leistungssteigerungen: Seit Ende der 1970er Jahre fand eine explosionsartige Steigerung der Speicherkapazität statt. Standard ist heute der 128 MB-Chip; in Produktion gegangen ist inzwischen auch der 256 MB-Chip (256 MB: 16.000 Schreibmaschinenseiten auf 2,86 cm²!). Weitere Klassen bis zur Giga-Byte-Kapazität sind in Vorbereitung.

Regel: Verdoppelung der Leistung ca. alle 18 Monate bei konstantem Preis! Das ist das sog. „Moore'sche Gesetz“, benannt nach Gordon Moore, Gründer des Chipherstellers Intel.

Projektion: Um 2013 gibt es den 256-Gigabyte-Chip, d.h. mehrere Millionen Halbleiter auf einem fingernagelgroßen Chip.

Diese Entwicklung setzt allerdings eine weitere Miniaturisierung bis in den Nanobereich voraus (1 Nanometer = 1 Milliardstel Meter). Deshalb gilt heute die „Nanotechnologie“ als eine Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Neue Instrumente wie das Rastertunnelmikroskop erlauben ein Vordringen der Materialforschung und -technologie bis in den atomaren Dimensionsbereich. Dadurch werden zahlreiche neue Anwendungsfelder der Technologie erwartet.

Parallel zur Leistungssteigerung steigt die Kapitalintensität der Produktion:

- 1) F & E-Aufwendungen steigen überproportional.
- 2) Neue Produktionsstätten werden immer teurer. Z.B. verursachten die Chip-Fabriken in Regensburg und Dresden Investitionen von ca. 150 Mio bis 250 Mio €. Die dortige Produktion unter Reinstraumbedingungen ist extrem aufwändig; die hohen technischen Anforderungen infolge der Miniaturisierung führen zu hohen Ausschussraten.

Folgen für Wettbewerbssituation: Es besteht nicht nur eine hohe technologische Barriere des Markteintritts, sondern auch eine Kapitalbarriere. Immer weniger große TNCs können bei diesem hochriskanten Wettbewerb mithalten; teilweise vereinbaren sie strategische Allianzen, um die hohen Risiken auf mehrere Schultern zu verteilen.

Stufen der Produktion integrierter Schaltungen:

1. Entwurf der neuen Schaltung,
2. Fertigung der sog. Masken (Bilder der Schaltungsmuster),
3. Fertigung der sog. *Wafer* (wörtl. hauchdünne Oblate), d.h. Siliziumkristallscheiben, Ätzen der Schaltungsmuster auf die Wafer mit Hilfe der Masken,
4. Montage der Chips auf Leiterplatten o.ä.;

5. Testen und Versand.

Bei den einzelnen Stufen wirken unterschiedliche Standortfaktoren:

- Bei ASICs ist wichtig: 1) Nähe zu Kunden; 2) hochqualifiziertes Personal;
- bei Montage und generell bei Massenfertigung: einerseits Arbeitskosten und deshalb Einsatz gering qualifizierter, meist weiblicher Arbeitskräfte; andererseits wird dieser Standortfaktor teilweise überkompensiert durch extreme Rationalisierung, Zuverlässigkeit und Qualität der Produktion. Deshalb können auch in den Ländern der Triade Halbleiter und Standard-Chips wettbewerbsfähig lokalisiert sein.
- Generell: Das extrem geringe Gewicht der Produkte in Relation zu ihrem Wert macht Transportkosten irrelevant, desh. werden andere Faktoren entscheidend.

Haushaltselektronik:

Beispiel Fernseher: ähnliches Standortmuster, d.h. einerseits Trend zu standardisierter Massenproduktion mit hohem Kapitaleinsatz und wenig qualifizierten Fachkräften; andererseits hoher Kapitaleinsatz für F&E, z.Zt. insbesondere für Flüssig-Kristall-Technologie (LCD), die flache Bildschirme erlaubt. Diese Technologie setzt sich zur Zeit nicht nur bei PCs, sondern auch TV-Bildschirmen durch.

Faktor Politik der Regierungen

Die Politik ist besonders engagiert bei der Halbleiterindustrie (aktive Komponenten), ferner der Computer- und Telekommunikationsindustrie. Halbleiter gelten als Basistechnologie mit strategischer Bedeutung für viele andere Industrien wie Auto, Maschinenbau usw., auch für die Rüstungsindustrie. Viele große Länder versuchen, gerade in dieser Basistechnologie eine Abhängigkeit von anderen Ländern zu vermeiden.

Grundsätzlich bestehen drei Optionen:

- a) Aufbau einer eigenen Halbleiterindustrie,
- b) Aufbau von Fertigungsstätten ausländischer Halbleiterfirmen,
- c) Zukauf von Chips auf dem Weltmarkt und Konzentration auf weitere Verarbeitungsstufen („*assembling*“).

Eine besonders kritische Situation betrifft das Verhältnis zwischen USA und Japan. Ursprünglich waren die USA Weltmarktführer, im Wesentlichen ausgelöst durch die staatlich forcierte Rüstungs- und Luftfahrtindustrie. Nach dem Verlust der Weltmarktführerschaft an Japan entstand eine heftige politische Diskussion: Einerseits wurde das Credo der liberalen Weltwirtschaft vertreten, andererseits übte die Lobby der amerikanischen Halbleiterindustrie Druck auf die US-Regierung aus, um mit Japan zu verhandeln (Dumping-Vorwurf und Zugang zum japanischen Markt) und um eine aktive Technologieförderung nach dem Vorbild des MITI (Aufbau der japanischen Elektronikindustrie war Schwerpunkt der MITI-Politik) zu erreichen.

Europa:

Anfang der 1980er Jahre wurde in Europa, d.h. sowohl von Unternehmen als auch von der Politik, die strategische Bedeutung der Halbleiterentwicklung krass unterschätzt. Dadurch geriet Europa in einen klaren technologischen Rückstand. Seit Mitte der 80er Jahre hat sich die Situation aber wieder verändert: Einzelne Unternehmen wie Philips und Siemens haben umgesteuert und eine Aufholjagd begonnen, nationale Regierungen haben einschlägige

Forschungs- und Technologieförderprogramme aufgelegt, und die Europäische Kommission hat mehrere Initiativen gestartet, z.B. ESPRIT (Informationstechnologien) und speziell JESSI (*Joint European Submicron Silicon Initiative*) zur Förderung der europäischen Mikrochip-Industrie. Einen Schwerpunkt bilden dabei Nanotechnologien mit einer Fundierung durch die Grundlagenforschung. Hier hat Europa inzwischen deutlich aufgeholt.

Haushaltselektronik

Beispiel Fernseher: Hier gab es insgesamt weniger staatliche Maßnahmen als bei der Industrielektronik, aber insbesondere Importrestriktionen zum Schutz einheimischer Märkte vor ostasiatischer Konkurrenz, z.B. in Frankreich. Eine wirksame Handelsbarriere war ferner die technische Normenpolitik; z.B. dienten das deutsche PAL- und das französische SECAM-System lange Zeit (bis ca. 1980) dazu, japanische Anbieter auszuschließen.

Die nationale Politik der Schwellenländer war in der Vergangenheit sehr unterschiedlich. Beispielsweise betrieben Taiwan und Singapur eine liberale FDI-Politik. Hingegen verfolgte Südkorea eine sehr restriktive Politik mit dem Ziel des Aufbaus einer einheimischen Produktion. Heute steht der technologische Wettbewerb um LCD-Flachgeräte im Mittelpunkt.

Unternehmensstrategien

Der Elektronik- und speziell der Halbleitermarkt ist ein zwar rasch wachsender, aber auch sehr heterogener und fragmentierter und vor allem ein globalisierter und hochgradig zyklischer Markt mit heftiger Preiskonkurrenz. Beispielsweise betragen die Herstellungskosten eines 256 MB-Chips Anfang 2002 in Korea 3,5 US\$ und in Deutschland 6 US\$. Infolge der konjunkturellen (evtl. auch strukturellen?) Nachfrageschwäche wurden auf dem Markt jedoch nur 2,6 US\$ erzielt.

Die Unternehmen reagieren auf diese Nachfrage- und Preisschwankungen mit einem breiten Spektrum von Strategien mit hohem Druck zur Restrukturierung:

- einerseits: Rückzug auf Nischen, z.B. KMUs zur ASICs-Fertigung;
- andererseits: Größenwachstum im Weltmaßstab zur Erzielung von *scale economies* bei der Chip-Fertigung (Automatisierung und Rationalisierung);
- drittens: Produktdiversifizierung, um die Abhängigkeit von wenigen Produkten mit hohem Ertragsrisiko zu lockern;
- viertens: Strategie der vertikalen Integration mit dem Ziel technologischer Kompetenz auf allen Stufen der Wertschöpfungskette, um eine Abhängigkeit insbesondere von den ostasiatischen Zulieferern zu lockern;
- fünftens: strategische Allianzen, z.B. bei der Entwicklung neuer Speicher- und Prozessor-Chips, um das Risiko hoher F&E-Aufwendungen zu verringern.

Halbleiterindustrie:

Story von *Silicon Valley*:

1957 verließ William Shockley, einer der Pioniere der Transistortechnologie, die Fa. Bell (Telefon) und gründete in Palo Alto (Santa Clara Valley, Cal.) die Firma „*Fairchild Semiconductor*“; ab 1959 entstanden durch Spin-offs weitere Halbleiter-KMUs.

1971: Von den 23 bestehenden Firmen gehen 21 auf Fairchild zurück! Standortfaktor: Nähe der Stanford University, die große Militärforschungsprojekte bearbeitete und wo hochspezialisierte Wissenschaftler und Absolventen verfügbar waren.

Ergebnis: weltweit einmaliger Cluster von High-Tech-Firmen mit dem Schwerpunkt Halbleiter. Dabei ist besonders bemerkenswert: Die Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit dieses Clusters konnte über Jahrzehnte aufrecht erhalten werden.

Wesentliche Merkmale heute:

- kleine und mittelgroße Unternehmen (KMUs), die untereinander kooperieren (spezifische Netzwerk-Struktur und Regionalkultur);
- Großunternehmen der Halbleiterindustrie, die dort eingebunden sind;
- staatliche Finanzgeber, insb. Rüstungsindustrie und Kooperation mit Universitäten.

Mit der Krise der sog. *New Economy* (2001-03) geriet allerdings auch der Halbleiter-Cluster des Silicon Valley in die Krise. Es ist noch nicht klar, ob dies eine Normalisierung nach einer spekulativen Überhitzung („bubble“) oder eine ernste Strukturkrise ist.

Heute wird der Weltmarkt durch große TNCs geprägt:

- 1. Intel, danach aber mehrere japanischer Unternehmen wie NEC, Toshiba, Hitachi usw.; seit neunziger Jahren auch Korea (Samsung und Hyundai) und Taiwan.
- Im Zeitverlauf gab es rasche Schwankungen zwischen den Unternehmen. Noch in den 1980er Jahren dominierten japanische Unternehmen, seitdem setzte wieder eine gewisse Renaissance der US-Unternehmen Intel und Motorola ein.
- Europäische Unternehmen fielen in den 1980er Jahren stark zurück, haben aber in den 1990er Jahren wieder aufgeholt. 1998 gehörten wieder drei europäische Unternehmen zu den Top Ten der globalen Halbleiterindustrie: Philips (NL), ST Microelectronics (F) und Siemens („Infineon Technologies“) (2000 aber wieder nur noch zwei).

Größte Halbleiter-Unternehmen

		Umsatz 1990 in Mrd US\$	Marktanteil 1990	Rangplatz 1999
1. Intel	USA	29,75	13,4 %	1.
2. Toshiba	Japan	11,21	5,0 %	3.
3. NEC	Japan	11,10	5,0 %	2.
4. Samsung	Korea	10,10	4,9 %	4.
5. Texas Instruments	USA	9,10	4,1 %	5.
6. Motorola	USA	8,00	3,6 %	6.
7. ST Microelectronics	Frankreich	7,95	3,6 %	9.
8. Hitachi	Japan	7,28	3,3 %	7.
9. Hyundai	Korea	6,89	3,1 %	.
10. Infineon	Deutschland	6,72	3,0 %	8.

(9. Philips)

Quelle: DIE ZEIT 18.10.2001

Typisierung der Halbleiterunternehmen:

- a) vertikal integrierte Unternehmen (Extrem: IBM; auch japanische Unternehmen, die vor allem Speicherchips und Prozessoren auch für den eigenen Bedarf produzieren);
- b) spezialisierte Unternehmen wie Intel und Motorola, die Chips für den freien Markt produzieren.
- c) Mischtyp von a) und b).

Teils Strategien der vertikalen Integration (z.B. IBM), teils Spezialisierung auf eine Stufe (z.B. Intel) mit unterschiedlichem Erfolg.

Strategien:

In den 1960er bis 1980er Jahre fand ein starker (horizontaler) Konzentrationsprozess durch „*mergers and acquisitions*“ statt. Dadurch verschwanden die früher dominierenden KMUs weitgehend.

Seit Ende der 80er Jahre: *strategische Allianzen*, da selbst Großunternehmen nicht mehr allein die rasch steigenden F&E-Aufwendungen tragen können (Table 11.2).

Globale Organisation der Produktion:

In der Elektronikindustrie ist Globalisierung vielleicht weiter als in allen anderen Industriezweigen vorangeschritten.

USA-Halbleiterproduzenten:

Schon in 1960er Jahren (zuerst Fairchild in Hongkong 1962) Aufbau von Halbleiterproduktionen mit einfachen Verarbeitungsstufen, insb. Montage, nach E- und SE-Asien sowie nach Mexiko („*Offshore assembling*“).

Fig. 11.7: klare Schwerpunkte: 1) Ostasien, 2) Mittelamerika, 3) Westeuropa.

Dabei deutliche Funktionsteilung:

- 1) F&E, Entwurf und größtenteils auch Masken- und Waferproduktion in USA,
- 2) jedoch Montage *offshore*, d.h. in SE-Asien und Mexiko.

Neuere Tendenzen:

- a) Nicht mehr nur *Low-cost-Fertigung*, sondern auch komplette Produktionen werden in die Schwellenländer verlagert, da dort inzwischen einheimische Fachkräfte verfügbar sind.
- b) Zunehmende Kooperation mit ostasiatischen KMUs als *Sub-contractors*.

Zur Vermeidung hoher Transaktionskosten bauten die amerikanischen Designhäuser in den 1990er Jahren mit erheblichen Investitionen selbst Waferkapazitäten auf, teils durch Firmenkäufe, teils durch *joint ventures*. Andere Unternehmen bauten feste Lieferkontrakte aus, und andere wiederum setzten auf den Spotmarkt. Je größer die Designhäuser, um so häufiger die vertikale Integration.

Japanische Halbleiterproduzenten:

Noch konsequenter als US-Unternehmen betrieben die japanischen Halbleiterunternehmen die Verlagerung der Produktion nach Ost- und Südostasien; ebenfalls zuerst zur Nutzung der niedrigen Arbeitskosten, heute teilweise komplette Fertigungen (Wafer); forciert seit 1985 wegen der starken Aufwertung des Yen.

Ca. 80 % der ausländischen Halbleiterproduktion japanischer Unternehmen ist in Ost- und Südost-Asien konzentriert, mit Schwerpunkten in Malaysia, Thailand usw. Im Unterschied zu den USA produzieren die dortigen Betriebe weniger für das Mutterland Japan, sondern für den Weltmarkt.

Derzeit (2001-03) scheint die japanische Elektronikindustrie nicht nur mit konjunkturellen, sondern auch strukturellen Problemen konfrontiert zu werden, nachdem sie über Jahrzehnte ein Zugpferd der japanischen Wirtschaft war. Toshiba kündigte an, 10 % der Arbeitsplätze zu streichen, davon allein 17.000 in Japan. Ähnlich Matsushita, NEC und

Hitachi. Toshiba verhandelt mit Infineon über eine Kooperation bei den verlustreichen Speicher-Chips.

Korea: neuer, rasch expandierender Anbieter.

Koreanische Unternehmen begannen erst Mitte der 1970er Jahre mit der Halbleiterproduktion: Samsung um 1975, Goldstar 1979, Hyundai und Daewoo 1983! Die Unternehmen waren damals ganz von japanischer und nordamerikanischer Technologie abhängig und mussten sich zunächst auf Standard-Produkte beschränken. Heute ist der technologische Rückstand aufgeholt und die koreanische Chip-Produktion gehört mit zur Weltspitze.

Europäische Halbleiterproduzenten:

Heute existieren nur noch drei bedeutende EU-Unternehmen: Philips, ST Microelectronics (früher: SGS-Thomson) und Siemens (Infineon). Alle drei Unternehmen haben Tochterbetriebe in Ost- bzw. Südostasien: Thomson: Wafer-Produktion in Singapur; Philips: Joint Venture in China, Siemens: Zweigwerke z.B. in Malaysia.

Siemens unternahm in den 1990er Jahren (mit staatlicher Unterstützung) große Anstrengungen, um in der Halbleiterfertigung international aufzuholen. Siemens verbesserte seine Weltmarktposition in der Halbleiterindustrie: 1993: Rang 19, 1999: Rang 8.

In den 1990er Jahre wurden moderne Fertigungsstätten in Regensburg, Dresden und NE-England bei Newcastle errichtet. In den Folgejahren entstanden jedoch hohe Verluste aufgrund von Überkapazitäten, Preiskämpfen koreanischer Anbieter (Asienkrise) und des Höhenflugs des britischen Pfunds. Als Folge beschloss Siemens, das hochmoderne Werk in NE-England wieder zu schließen (liberale britische Wirtschaftspolitik erleichtert nicht nur Investitionen, sondern auch Desinvestitionen!).

1999 gliederte Siemens den Halbleiterbereich aus („Infineon Technologies“) und brachte ihn 2000 an die Börse. Gründe: Konzentration auf ertragreichere Kerngeschäfte, stark schwankende Ertragslage (1997/98: 1,2 Mrd DM Verlust; 1998/99 50 Mio DM Überschuss, 2000/01 und 2001/02 hohe Verluste). Die Umstrukturierung bei Infineon führte zur Reduktion des besonders konjunkturanfälligen Speicherchip-Bereichs, aber zum Ausbau der ASIC-Bereiche („Logik-Chips“).

Derzeit (2001) stellt sich das globale Netzwerk der Infineon-Betriebe wie folgt dar:

1. F&E und Design: München, Ulm, NRW, Österreich, Südfrankreich, Bristol, Israel, Kalifornien, Massachusetts, North Carolina, Bangalore;
2. Front End: München, Regensburg, Dresden, Villach, Grenoble, Taiwan;
3. Back End: Berlin, Warstein, Porto, North Carolina, Wuxi (China), Singapur, Malaysia.

Strategischer Partner in Ostasien: Fujitsu.