

Wissenschaft und Strategie der Mikroelektronik

„Wen wählen aus der vierten Kolonne?“

Vortrag von Prof. Dr. H. J. Queisser, Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, anlässlich des CeBIT-Pressenabends der Mannesmann Kienzle GmbH am 09.03.89 in Hannover.

Ich freue mich über die Möglichkeit, diese beeindruckende Leistungsschau hier in Hannover zu sehen und mit unserer Laborarbeit zu vergleichen, wo versucht wird, neue Dinge zu finden. Was kann man mit Halbleitern, Silicium, Galliumarsenid machen? Wie stellt sich der Vergleich dar zwischen dem, was schon Wirklichkeit ist, was man hier in Hannover auf der CeBIT-Messe sieht und den Forschungsarbeiten für die Zukunft?

Sie werden sich vielleicht noch an Ihren Chemieunterricht erinnern, daß man die Elemente, aus denen unsere Welt zusammengesetzt ist, in Perioden ordnen kann. In der Mitte, sozusagen als Rückgrat dieses Periodensystems, steht die vierte Hauptgruppe, die vierte Säule, die „vierte Kolonne“. Ganz oben findet man ein außerordentlich wichtiges Element – vor allem für uns Menschen –, den Kohlenstoff, der sechs Elektronen hat (außen vier, innen zwei). Unten findet man typische Metalle, die wir in der Elektrotechnik benutzt haben und noch benutzen; ganz unten steht das Blei, das wir auch heute noch in den Akkumulatoren zur Speicherung elektrischer Energie brauchen. Darüber gibt es das Zinn; nützlich für ein etwas altmodisches Verfahren („Lötzinn“), elektronische Funktionen miteinander zu verbinden. Vor 20 Jahren war das noch sehr wichtig.

In der Mitte findet man zwei ganz besonders interessante Elemente, das Germanium, mit dem die ganze „Halbleiterei“ – das war erst 1945 – angefangen hat, und darüber als unmittelbarer Nachbar das Silicium (Bild 1).

Die Menschheit hat ihre großen Kulturepochen, und das nicht ohne Zufall, immer nach den neuen Materialien benannt, die gerade beherrschbar wurden und große Wandlungen in Kultur und Zivilisation bewirkt haben. Die Steinzeit – mit dem Faustkeil – war überhaupt der Anfang: Erstmals hat der Mensch Werkzeuge benutzt, Steine bearbeitet und Töpfe hergestellt. Dann kamen die leicht schmelzenden Metalle, zunächst die Bronze. Ein ungeheurer Wandel setzte mit der Bronzezeit ein. Die Welt wurde kleiner; Kommunikation, Handel entwickelten sich, Zeit für Kultur wurde freigesetzt. Danach kam der wichtige Schritt in die Eisenzeit, die den Übergang zur Neuzeit einleitete.

Das Material der Gegenwart aber ist das Silicium, so daß man wohl von der Siliciumzeit sprechen wird. Für diejenigen von Ihnen, die noch nie ein Stück Silicium gesehen haben, habe ich hier ein kleines Stück aus einem Siliciumeinkristall mitgebracht. Wir erkennen das schwärzliche, fast metallisch glänzende Äußere des Siliciums. Auf dem zweiten Bild sehen wir den Stand der Situation vor vielen Jahren: ein Einkristall aus Silicium, bei dem jedes Atom auf einem richtigen Platz sitzt, eine außerordentlich perfekte Anordnung der einzelnen Atome. Dieses ist das Material der kommenden Siliciumzeit. Die CeBIT-Messe wird von diesem Werkstoff gelenkt, gesteuert und beeinflusst. Aber man wird dieses Material Silicium kaum jemals sehen. Es ist hinter den Frontplatten, unter den

Gehäusen versteckt. Nur geringste Mengen werden benötigt. Die elektronischen Funktionen sind auf kleinstem, auf atomarem Raum angeordnet. Und hier liegt der Witz der Mikroelektronik: Software hätte man vielleicht schon zur Zeit von Leibniz schreiben können – wie es ja auch geschah. Was aber in unserem Zeitalter erst realisiert werden konnte, war die Integration elektronischer Funktionen ins Innere eines Einkristalls.

5 +3 B	6 +2 C -4	7 +1 N +2 +3 +4 +5 -1	8 -2 O
10.81 2-3	12.011 2-4	14.0067 2-5 -2 -3	15.9994 2-6
13 +3 Al	14 +2 Si +4 -4	15 +3 P +5 -3	16 +4 S +6 -2
26.98154 2-8-3	28.0855 2-8-4	30.97376 2-8-5	32.06 2-8-6
31 +3 Ga	32 +2 Ge +4	33 +3 As +5 -3	34 +4 Se +6 -2
69.72 -8-18-3	72.59 -8-18-4	74.9216 -8-18-5	78.96 -8-18-6
49 +3 In	50 +2 Sn +4	51 +3 Sb +5 -3	52 +4 Te +6 -2
114.82 -18-18-3	118.69 -18-18-4	121.75 -18-18-5	127.60 -18-18-6
81 +1 Tl +3	82 +2 Pb +4	83 +3 Bi +5	84 +2 Po +4
204.37 -32-18-3	207.2 -32-18-4	208.9808 -32-18-5	(209) -32-18-6

Bild 1

Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente. Die vierte Hauptgruppe wird vom Kohlenstoff (C) angeführt, es folgen die halbleitenden Elemente Silicium (Si) und Germanium (Ge), unten stehen die Metalle Zinn (Zn) und Blei (Pb).



Bild 2

Großer Silicium-Einkristall (Werkbild Wacker-Chemietronic).

Wenn wir nun die Wahl hätten unter den Elementen der vierten Kolonne: Eine Kohlezeit hat es nie gegeben als menschliche Kulturzeit, obwohl die Dampfmaschine durch Kohle und Holz, durch fossile Brennstoffe, geheizt wurde. Aber es gab die große geologische Periode des Karbon, des Zeitalters, in dem die fossilen Brennstoffe entstanden sind. Das Kohlenstoffatom hat eine schöne vierzählige Symmetrie. Eine vierzählige Bindung entsteht durch die vier äußeren Elektronen. Sie können sich beispielsweise das Methan, wesentlicher Bestandteil des Erdgases, so vorstellen: Am Kohlenstoff sind vier Wasserstoffatome gebunden. Sie wissen natürlich, daß der Kohlenstoff, weil er eben an der Spitze der vierten Kolonne des Periodensystems steht, eine ganze Fülle von chemischen Möglichkeiten bietet: Er kann lange Ketten und Ringe bilden, wie das aus der organische Chemie oder der Pharmazie bekannt ist.

Im Gegensatz zu den vielen Molekülen, die aus dem Kohlenstoff möglich sind und die als Farbstoffe, Lacke oder Pharmaka in unsere Dienste genommen werden, ist der Siliciumkristall zunächst einmal etwas viel Langweiligeres. Ich halte hier (Bild 3) einen Modellwürfel eines Siliciumkristalls. Für einen organischen Chemiker, der an den Kohlenstoff und seine Fülle von Verbindungen gewöhnt ist, ist ein solches starres Raumgitter eine sehr langweilige Angelegenheit, eine ständige Wiederho-

lung des Aufbaus der einzelnen Atome. Ein räumliches Raster wird durch diesen Einkristall aufgebaut. Die Idee der Nutzung dieses Elementes Si aus der vierten Kolonne des Periodensystems ist, daß wir nun gezielt einzelne Atome des Siliciumgitters ersetzen können durch andere Atome und damit elektronische Funktionen in dieses räumliche Gitter hineinbringen.

So kam es zu einer völlig neuen Nutzungsart eines chemischen Elements, die auf einer anderen Basis als beim Kohlenstoff beruht. Über Jahrhunderte war es nicht möglich, mit diesen Materialien - Germanium und Silicium - etwas anzufangen. Die Schwierigkeiten der Reproduzierbarkeit der Messwerte, etwa der elektrischen Leitfähigkeit, waren ungeheuer groß. Diese Unklarheit lag daran, daß geringste chemische Zusätze Änderungen der Regelmäßigkeit dieses Gitters und damit entscheidende elektrische Änderungen in den Eigenschaften hervorriefen. Man verstand es lange nicht. Erst als die Grundlagenwissenschaft hier eindrang und atomistisch verstanden wurde, was im Innern des Kristalls vorgeht, war es möglich, die Vielfalt, die vorher eigentlich irreführte, zu nutzen. Sie erkennen nun auch, wo die große Chance der Mikroelektronik liegt. Sie liegt darin, daß wir nicht mehr Komponenten zusammensetzen wie es die Elektrotechnik noch vor 50 Jahren allein konnte ("aus einzelnen Teilen etwas zusammenlöten"), sondern daß wir jetzt die elektronischen Funktionen und ihre Verbindungswege, die Drähte, die wir vorher mit dem Lötzinn festgemacht haben, ins Innere eines festen Körpers hineinbringen. Dies ist nur mit einer Symbiose von grundlegender Forschung und immer raffinierterer Technik möglich. Diese Verkopplung macht die Mikroelektronik so außerordentlich interessant.

Vergleichen wir die beiden Materialien Kohlenstoff und Silicium noch einmal auf eine völlig andere Weise. Der Kohlenstoff liegt uns in mehreren Formen vor - die wirtschaftlich für unser Land wichtigste ist die Steinkohle. Den Kohlenstoff fördern wir in einer reduzierten, nichtoxydierten Form. Wir überführen dieses Element aus der vierten Gruppe durch Zufuhr von Luftsauerstoff in einen oxydierten Zustand und bringen damit CO₂ in die Luft. Damit erzeugen wir elektrische Energie in unseren Kraftwerken. Silicium hat ganz andere chemische Eigenschaften. Es kommt im wesentlichen in der oxy-

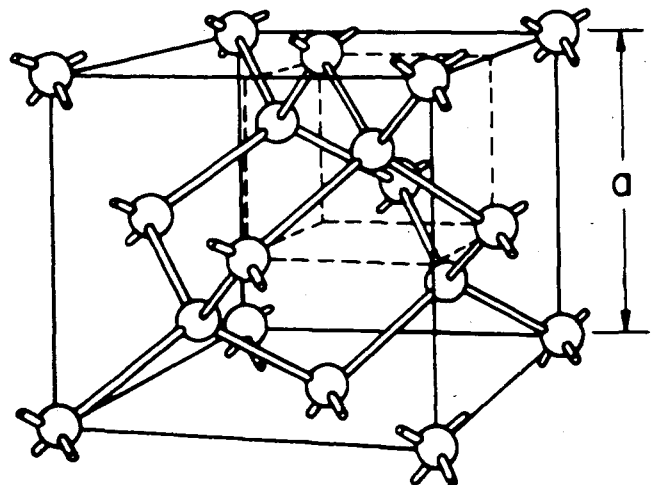


Bild 3

Gitteraufbau eines Silicium-Kristalls. Die räumliche Anordnung der Atome heißt „Diamant-Struktur“ nach dem typischen Vertreter Diamant. Germanium und Silicium ordnen sich räumlich nach diesem Baumuster.

dierten Form als Quarzsand vor und muß erst reduziert werden mit einem relativ großer Energieaufwand. Aber dann läßt sich auch mit dem Silicium eine Energieumwandlung betreiben mit einem völlig anderen Prinzip der Nutzung.

Wir können in einen Siliciumkristall einen p-n-Übergang hineinbringen durch Dotierung mit Akzeptoren, die einen Elektronenüberschuß und Donatoren, die einen Überschuß herstellen. Das sind die elektronischen Funktionen, die wir in den Kristall einbauen. Fällt nun Licht auf einen solchen Kristall, dann kann es, wenn es genügend Energie hat, eine solche Bindung aufbrechen. Unter einer „Bindung“ verstehen wir die Verbindungslinien zweier Atome im Kristall; zwei Elektronen stellen diese Bindung zwischen den einzelnen Siliciumatomen her. Der Kristall nimmt dem Licht seine Energie ab, hebt ein Elektron energetisch in einen Zustand, der bisher noch gar nicht von Elektronen besetzt war. Die Physiker sagen dann, daß sie ein Teilchen-Antiteilchenpaar erzeugt haben. Es ist genau dasselbe Prinzip, nach dem auch unsere Welt in ihren Elementarteilchen zusammengesetzt ist, wie wir es in den großen Beschleunigern erforschen. Das Antiteilchen ist das zurückbleibende Loch in der eigentlich aufzufüllenden Vielfalt der Elektronen, die die Bindung herstellen. Wenn wir jetzt im Kristall einen p-n-Übergang erzeugen, werden Löcher und Elektronen im Feld dieses p-n-Übergangs voneinander getrennt. Die beiden Ladungen werden getrennt zu den Kontakten gebracht -das ist eine Solarzelle; sie funktioniert wie eine Batterie, an deren Polen wir positive und negative Ladungen zur Verfügung haben.

Sie sehen in Bild 4 eine Sonnenbatterie, die aus polykristallinem Silicium hergestellt wird. Hier hat man ganz gezielt versucht, sich das teure Verfahren zur Herstellung eines idealen Einkristalls zu ersparen. Die Bundesregierung hat über viele

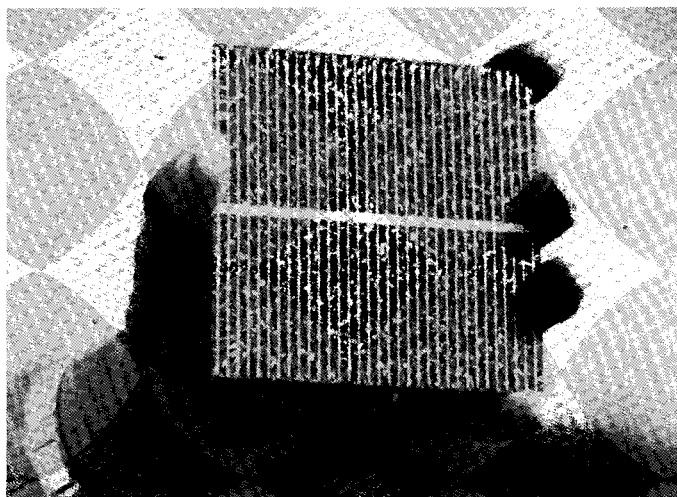


Bild 4

Sonnenbatterie zur Direktumwandlung von Sonnenlicht-Energie in elektrische Energie. Benutzt wird hier ein Silicium-Stück, das aus vielen regellos angeordneten Kriställchen besteht. Dieses „polykristalline“ Material ist weitaus billiger als die idealen einkristallinen Si-Materialien für die hohen Ansprüche der Mikroelektronik. Dennoch sind Si-Solarzellen noch viel zu teuer in der Konkurrenz gegen andere Verfahren der Erzeugung elektrischer Energie.

Jahre gerade dieses Gebiet der Sonnenbatterien sehr nachdrücklich gefördert, was leider viel zu wenig in der Öffentlichkeit bekannt ist. Die Wacker-Chemie mit ihrer Firma Helio-tronic in Burghausen und die AEG in Heilbronn und Wedel haben einen erheblichen Entwicklungsaufwand geleistet und eine Spitzenposition weltweit auf diesem Gebiet der Sonnenbatterien aus Silicium erreicht.

Diese Batterien sind aber immer noch viel zu teuer, und hier liegt also das Problem. Zwar können wir mit der Dritten Welt zusammenarbeiten und beispielsweise in Ägypten oder im Irak dem Imam helfen, seine Stimme zu den Gläubigen zu bringen, indem Mikrofon und Lautsprecher mit Strom aus Sonnenbatterien gespeist werden wie in Bild 5 gezeigt. Aber dies sind besondere Anwendungsfälle - ansonsten ist die Kilowattstunde, die wir aus einer Sonnenbatterie erzeugen können, immer noch viel zu teuer. Sie sehen hier das Problem der Wahl: Was wählen wir, wo sollen wir unsere Energie hernehmen? Dies ist eine der Fragen die wir uns stellen müssen: Wollen wir darauf beharren, Steinkohle zu verbrennen? Oder sollen wir nicht an alternative Energien denken? Viele Utopisten glauben, es sei nur der böse Wille der bösen Industrie, die die Solarzellen bisher noch nicht kommerziell nutzbar gemacht hat. Ich kann mich dieser Meinung nicht anschließen. Immer noch kostet die Solarzellen-Kilowattstunde fast das Zehnfache einer normalen, durch übliche Verfahren hergestellten Kilowattstunde, und es bedürfte großer Anstrengungen, um im großtechnischen Maßstab echte Kostenvorteile zu erzielen.

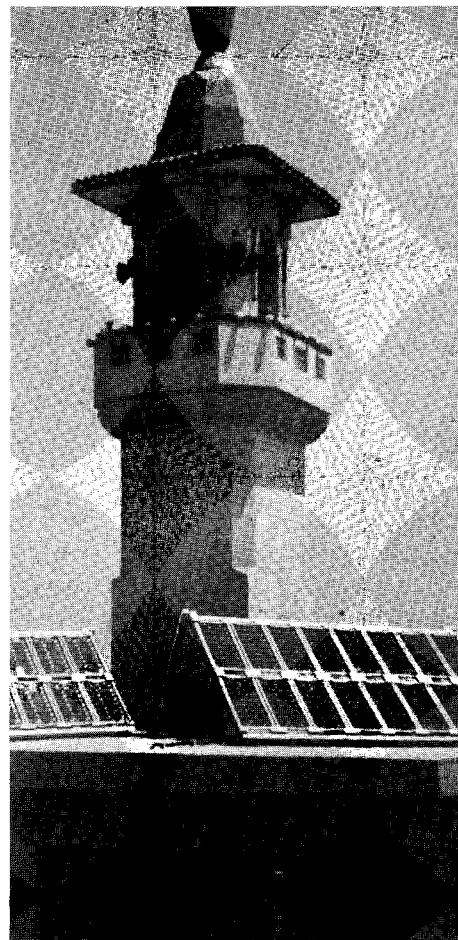


Bild 5

Nutzung von Silicium-Sonnenbatterien in einem sonnenreichen Land des Mittleren Ostens.

Eine freie Privatwirtschaft, die von einer demokratischen Regierung allenfalls ein wenig unterstützt wird, die keine direkten Eingriffe in die private Industriepolitik macht, sieht sich vor die schwierige Aufgabe gestellt: Soll hier massiv auf eine solche Photovoltaik mit ihren unsicheren Aussichten gesetzt werden und sie gegenüber der Kohle konkurrenzfähig gemacht werden? In Amerika ist ein starker Rückgang der privatwirtschaftlichen Förderung von Solarkraftwerken zu beobachten, und auch bei uns fällt es der Regierung schwer, einen Förderbeitrag von etwa mehr als 50 % aufzubringen. Auf der anderen Seite ist das wirtschaftliche Risiko eines Privatunternehmers, sich in diese Dinge hineinzubegeben, eigentlich zu hoch. Bei uns in der Bundesrepublik wird immer der Vorwurf hoher Subventionen erhoben. Aber das andere Element in unserer Gruppe vier, die Steinkohle, sie kostet die Bürger der Bundesrepublik Deutschland jährlich 12 Milliarden Mark, während der Gesamtaufwand etwa in der Photovoltaik im Vergleich dazu etwa 100 Mio. DM maximal im Jahr beträgt. Dies als kleiner Exkurs über die Energiefrage im Vergleich der Elemente aus der vierte Kolonne.

Wesentlich in der Mikroelektronik ist, daß sie kleiner wird und ihre Möglichkeiten immer bedeutender werden. Bild 6 wird wohl vielen von Ihnen bekannt sein. Sie sehen hier den exponentiellen Preisverfall, der sich aus den Kosten für ein gespeichertes Bit in einem Speicher ergibt. 1970 hat es noch 1 US-Cent gekostet, dann fing das 1 Kilobit Random access memory an, auf den Markt zu kommen. Damals waren die Ame-

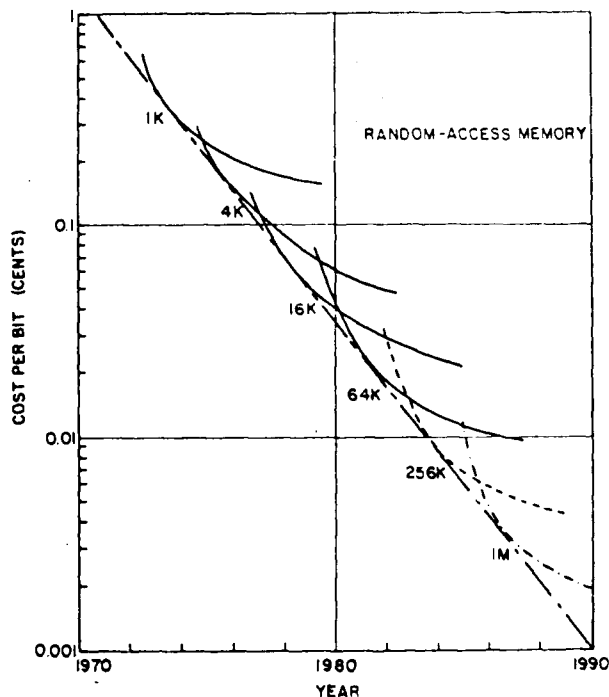


Bild 6

Preisverfall für die Speicherfunktion. Die Kosten, um mit Silicium-Speicherchips die Information von 1 Bit zu speichern, sinken dramatisch mit der Zeit, weil die Bauelemente kleiner und dichter gepackt hergestellt werden können. Die Kurven geben die Kosten pro Bit für jeweils einzelne Chip-Generationen an. Die tangentielle Gerade zeigt, daß die Kosten mit der Zeit nicht etwa nur linear, sondern viel schneller – nämlich exponentiell – fallen.

rikaner in Silicon Valley noch führend. Sie sehen hier die einzelnen Kurven bis unten – Generation nach Generation – bis zum Megabit-Chip; tatsächlich ergibt sich eine Einhüllende, die exponentiell absinkt. Ein Preisverfall, der den meisten normalen Mitbürgern in dieser Dramatik überhaupt nicht klarzumachen ist!

Ich könnte mir vorstellen, daß es eine wichtige Aufgabe der Fachpresse ist, diese exponentiellen Preisverfälle, die die Mikroelektronik so entscheidend beeinflusst haben, einigermaßen zu verdeutlichen. Das hat auch dazu geführt, daß der Computer eben nicht, was er noch vor 15 oder 20 Jahren war, zu einem einmaligen Großgerät geworden ist. Sie erinnern sich an die Ängste, die Orwells „big brother is watching you“ ausgelöst haben: der Großcomputer als zentrale Einheit, Zugang nur für die Mächtigen aus Politik und Wirtschaft. Diese Schreckensvision ist nicht eingetreten! Wir brauchen nur durch die CeBIT-Messe zu gehen und sehen die kleinen Personalcomputer mit überraschenden Speichermöglichkeiten und einer bestechenden Logik. Das ist nur möglich, weil wir eine so eklatante Reduktion der Preise erfahren haben, und dieses wiederum ist eine Folge der Tatsache, daß die Mikroelektronik wirklich ins Atomare hineingeht. Es sind die realisierten Möglichkeiten des elektronischen Funktionsgebens durch atomistische Veränderungen in der Matrix des Siliciumeinkristalls.

Wir können heute in einem Chip 1 Megabit als derzeitiges Standardbauelement durchführen. Man sollte die Regierungen der Bundesrepublik und der Niederlande beglückwünschen.

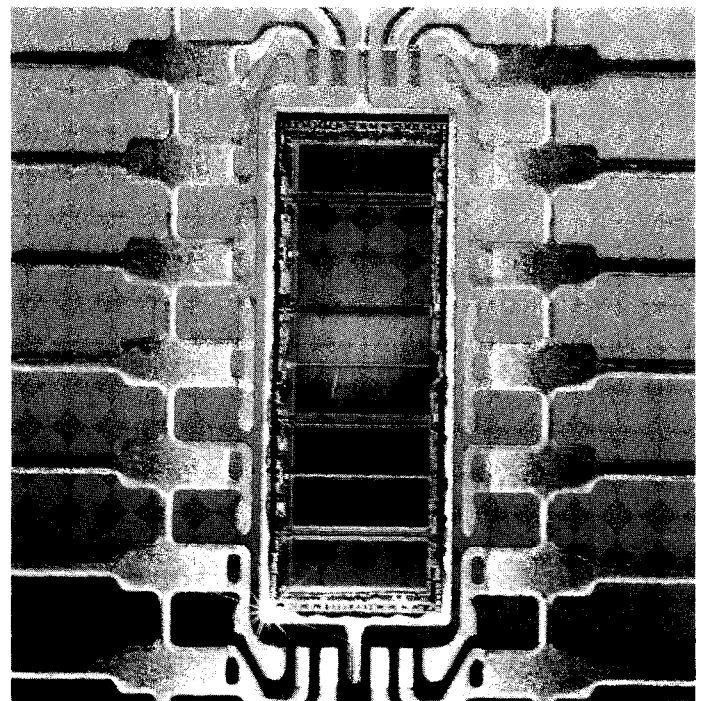


Bild 7

Aufsicht auf einen nur quadratmillimetergroßen Silicium-Speicherchip im Mega-Bereich, d. h. mit Speichermöglichkeit für 1 Million Informationseinheiten.

Sie sind angegriffen worden, als das „Megaprojekt“ initiiert wurde und zwei große Firmen einige 100 Mio. Gulden bzw. DM erhielten, um Anschluß an die japanische Dominanz zu halten. In der Tat ist es gelungen, auf dem Gebiet des 1-Megabit-Speicherchips ein knappes Prozent des Weltmarktanteils nach Europa zurückzubringen und Anschluß zu gewinnen. Bild 7 zeigt ein Bild eines solchen Mega-Speichers.

Die Größenordnung der Strukturen ist jetzt in die Gegend der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes gekommen und damit entstehen Interferenzfarben. Wir bewegen uns also unterhalb dessen, was das menschliche Auge noch auflösen und begreifen kann. Hier liegt wieder einer der Stolpersteine vor allen Dingen unserer Gesellschaft in Deutschland, nämlich die starke öffentliche Ablehnung der Mikroelektronik. Vielleicht beruht das darauf, daß sie nicht mehr „begreifbar“ im wörtlichen Sinne dieses Ausdrucks ist.

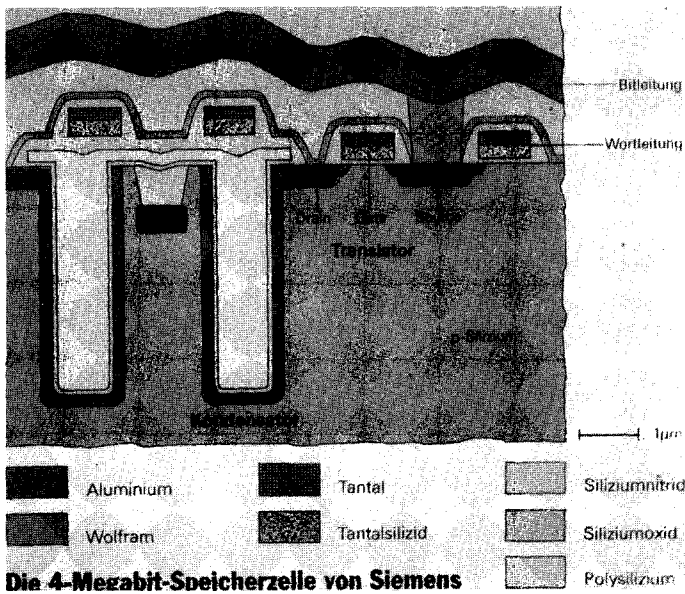


Bild 8

Schema für den Aufbau der einzelnen Zelle eines Speichers mit der Kapazität von 4 Megabit (Siemens, aus der Zeitschrift „Bild der Wissenschaft“).

Bild 8 zeigt den 4-Megabitspeicher. Er ist in der Entwicklung ebenfalls schon sehr weit fortgeschritten. Hier hat Europa wieder Konkurrenzfähigkeit erreicht: Aber ohne japanisches Know-how, ohne japanische Materialien, ohne japanische Herstellungsgeräte, ohne die neue Generation der Werkzeugmaschinen wäre das nicht mehr möglich gewesen! Wir beginnen jetzt in dieser Generation der Halbleiter-Speicherbauelemente in die dritte Dimension des Kristalls hereinzugehen. Vorher war Speichertechnologie eine oberflächliche Behandlung; der ganze Kristall wirkte nur als eine Art Handgriff, nur von der Oberfläche wurden die Donatoren und Akzeptoren hineindiffundiert. Jetzt aber kann man mit Plasmaätzmethoden solche Gräben in die dritte Dimension des Siliciumkristalls hineinätzen.

Das Bild 9 zeigt dazu eine elektronenmikroskopische Aufnahme. So sieht der Speicher in Wirklichkeit aus, diese Aufnahme ist bereits im Juni 1986 in den Labors so erreicht wor-

den. Die atomare Auflösung, bis ins einzelne Atom hinzugehen, das ist die große Chance der Mikroelektronik. Sie braucht wenig Material, wenig Energie, um Funktionen darzustellen, sie braucht wenig Platz, aber enorm viel Wissen, Disziplin und Motivation. Insofern unterscheidet sich dieses Element Silicium von dem oft einfach nur als Volumenmaterial benutzten Element Kohlenstoff in der vierten Kolonne des Periodensystems.

Die Tendenzen der Verkleinerung gehen weiter. Auch unsere eigene Forschung im Max-Planck-Institut in Stuttgart geht immer stärker auf das einzelne Atom hin. Wir haben 1970 bereits angefangen, Epitaxieeinrichtungen zu konzipieren und aufzubauen, mit denen wir Atomlage für Atomlage aufbringen können. Heute gelingt es uns beispielsweise, in einem Kristall eines Verbindungshalbleiters Gallium, Arsen, Gallium, Arsen abzuwechseln und dann statt einer Galliumatomebene eine Ebene von Aluminiumatomen einzulegen und dann weiterzumachen: Arsen, Gallium, Arsen. Es gelingt wirklich eine Beherrschung eines Material-Aufbaus von atomaren Abmessungen.

Wie kann man solch feine Anordnungen überhaupt noch sehen? das Bild 10 zeigt es. Das Elektronenmikroskop mit atomarer Auflösung wird immer mehr zum typischen Werkzeug des Halbleiter-Physikers und des Bauelemente-Ingenieurs. Diese Mikroskope sind heute so weit gezüchtet, daß es bei Materialien wie Silicium gelingt, Abbildungseffekte einzelner Atome zu sehen. Auch hier, bei diesen Mikroskopen, sind die Japaner außerordentlich aktiv. Sie stellen im Augenblick in zwei konkurrierenden Firmen Serien neuer Elektronenmikroskope auf, die eine entsprechend hohe Auflösung ergeben. Die Werkzeuge gehen also mit der mikroelektronischen Technik den Weg in die atomaren Abstände. Daraus resultieren wiederum die faszinierenden wissenschaftlichen und technischen Möglichkeiten, sich in atomare Dimensionen hineinzubewegen. Damit kann der exponentielle Preisverfall, der so ungeheuer wesentlich ist für die Anwendung der Mikroelektronik, noch weiter gehen.

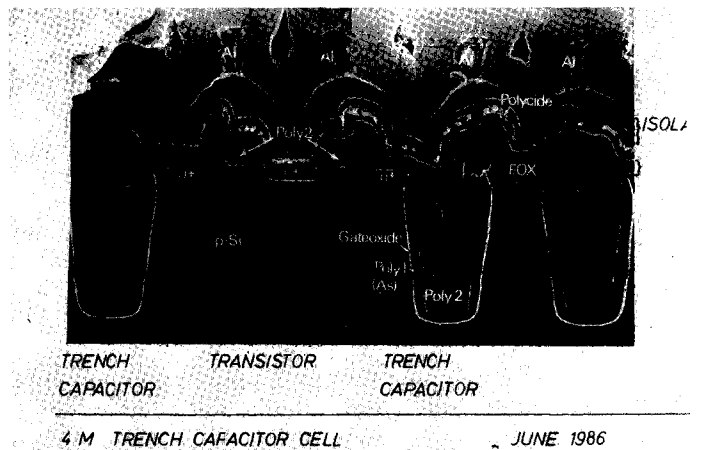


Bild 9

Rastermikroskopische Aufnahme einer Mega-Speicherzelle (Siemens).

Neu erscheinen aber auch ganz andere Dinge, die Bild 11 darstellt: Das Material Silicium ist inzwischen extrem sauber und vor allem bis ins Einzelne von den Grundlagen her verstanden. Mit weitem Abstand die meiste Literatur in der technischen Fachwelt gibt es über das Element Silicium. Man kann damit nunmehr mechanische Elemente, Rädchen, Schwinger, Membranen, Beschleunigungssensoren, Gasflußmesser und eine ganze Reihe anderer Dinge in kleinsten Dimensionen herstellen. Das Silicium erobert also auf Grund der Tatsache, ein so sauberes und präzis verstandenes Material zu sein, nun auch eine neue mechanische Welt. Sie kann darum ideal mit der mikroelektronischen Welt des Siliciums harmonisieren und eröffnet ganz neue Möglichkeiten. Für diese neuen Techniken sind darum nationale Strategien ganz wichtig geworden.

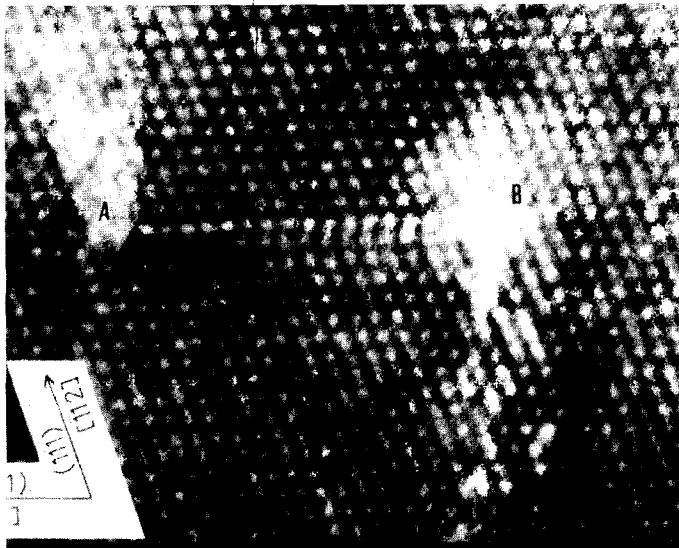


Bild 10

Atomare Anordnung eines Stückes Halbleiter-Material, sichtbar gemacht durch Beugungsbilder einzelner Atome in einem hochauflösenden Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop (links unten Angaben über die kristallographischen Richtungen).

Wir glauben in einer dreifach geteilten Welt zu leben: Ostasien, die USA und Europa. In diesen drei Zonen differiert die öffentliche Politik, das Bewußtsein und der politische Wille, der sich in Fragen der Förderung, des Vorantreibens, der Ausbildung und auch der kulturellen Bejahung oder Verneinung einer Technik ausdeutet. Da sind zunächst die USA zu nennen, die im Augenblick den großen Vorsprung verloren haben. Gerade die Jahre 1987 und 1988 waren für die USA außerordentlich schmerzhaft. Beispielsweise gibt es jetzt keinen Siliciumhersteller mehr in den kontinentalen USA im amerikanischen Besitz; alle Lieferanten sind japanisch oder deutsch. Dasselbe trifft in zunehmendem Maße für Gerätschaften zur Herstellung von Mikroelektronik zu. Die Speicherdominanz der Japaner ist bemerkenswert, sie haben die Gebiete der Mikroelektronik und der Telekommunikation etwa im Jahre 87/88 wesentlich beeinflusst. Im Augenblick wird ein viel diskutiertes Buch von Prestowitz in Amerika gelesen. Er war Assistent von Malcolm Baldrige und hat viele US-japanische Verhandlungen, z. B. über Dumping-Fragen, geführt. Prestowitz ist kein Halbleiterfachmann, aber ein größerer Teil dieses Buches, das allgemein den Handelskrieg zwischen Japan und USA betrifft, ist dem Gebiet der Halbleiter gewidmet (Bild 12). Die Japaner

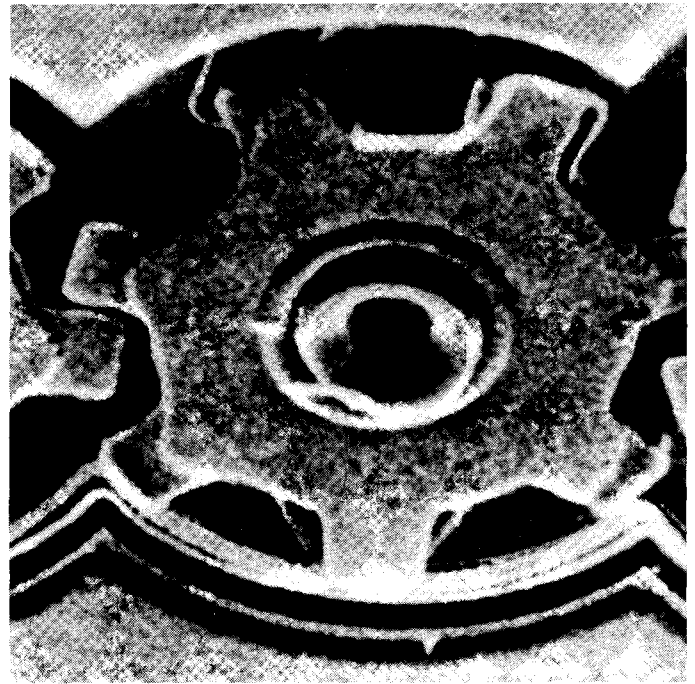


Bild 11

Beispiel einer neuen Mikromechanik kleinster Dimensionen, die mit dem hochentwickelten, gleichmäßigen Material Silicium möglich geworden ist: klassische Bauteile mit Größenordnungen von tausendstel Millimetern.

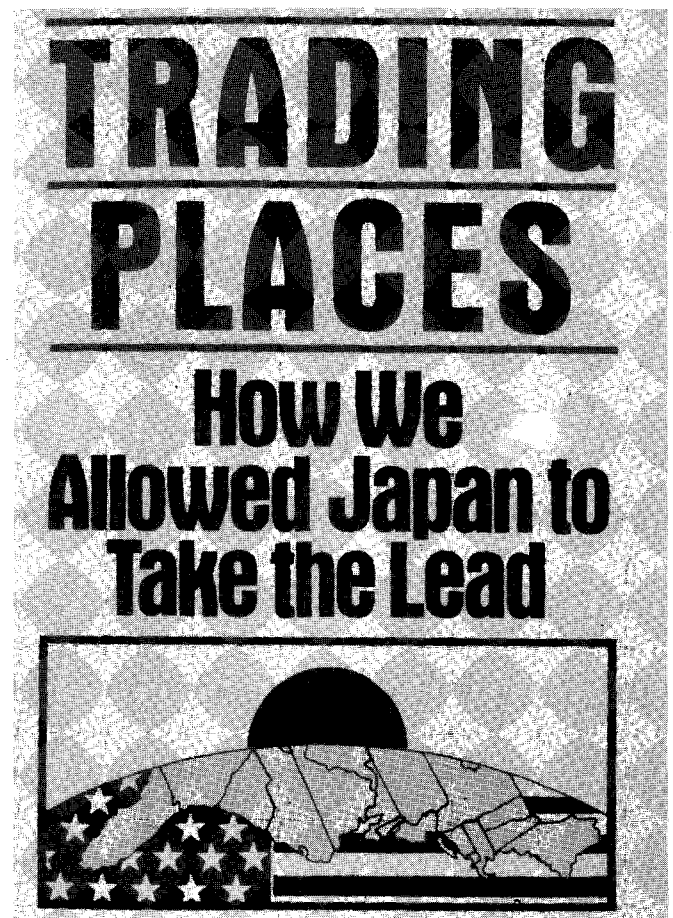


Bild 12

Titelseite eines 1989 in den USA viel diskutierten Buches, das den Niedergang der USA gegenüber Japan beschreibt und deutet; Autor ist Clyde V. Prestowitz.

haben das schon längst bekannt, sie nennen das den „nichi bai handotai senso“, den japanisch-amerikanischen Halbleiterkrieg: eine fast ins Manische gehende nationale Bestimmung, unter allen Umständen den Halbleiterkrieg zu gewinnen – und sie haben es ja auch inzwischen ganz wesentlich geschafft. In den USA hat es dazu geführt, daß man in einem Land der wirklich freien Wirtschaft nun anfängt, ganz offen nach einer Industrienkung, nach einer Industriepolitik zu rufen; die Gründung von Sematec, einer Mischung von Staat, zum Teil Pentagon, zum Teil andere Gremien, und der privaten Industrie, spielt hier eine große Rolle. Wir werden sehen, ob es mit diesem Mittel einer halb staatlichen, halb privatwirtschaftlichen Konkurrenz den Amerikanern gelingen wird, hier wieder einen Anschluß an die japanischen Standards zu finden.

Bei uns in Europa ist die Situation eigentlich äußerlich sehr ruhig. Wir Deutsche haben wohl bereits unsere Wahl getroffen, was die vierte Gruppe des Periodensystems betrifft. Wir fördern mit dem Jahrhundertvertrag milliardenschwer unsere heimische Steinkohle. Ich will hier keine Polemik betreiben. Der Jahrhundertvertrag löst für uns ein sehr wesentliches soziales Problem. Jeder, der die unmittelbare Nachkriegszeit miterlebt hat, weiß, wie unser ganzes Schicksal an der Verfügbarkeit ein-

heimischer Energieversorgung gegangen hat. Wir wissen alle, wie groß auf diesem Gebiet die politischen Schwierigkeiten sind. Gestern konnte man in der Zeitung lesen, Brüssel habe gesagt, dieser deutsche Jahrhundertvertrag müsse fallen. Ob das dazu kommt oder nicht, werden wir sehen. Eine weitere Förderung des Silicium-Megaprojekts wird es aber vermutlich nicht geben –vielleicht kommt es zu einer europäischen Lösung durch das Vorhaben JESSI? Politisch also haben wir uns für den Kohlenstoff – und letztlich wohl doch gegen das Silicium –entschieden!

Nun zu Europa. Die Abbildung 13 zeigt eine Marktübersicht aus „Electronics“ für das Jahr 1989: USA, Japan, Europa und „rest of the world“. Darüber sind die Koreaner ärgerlich. Wenn Sie einem Koreaner ein solches Bild zeigen, wird er sagen: „Wartet, ihr Europäer, in zehn Jahren wird da stehen: Südkorea, und „rest of the world“ seid ihr Europäer!“

Der Markt für elektronische Komponenten ist in Milliarden Dollar aufgeführt. Sie sehen, daß Westeuropa mit 320 Mio. Einwohnern einen sehr kleinen Markt hat, Japan einen sehr viel größeren, ebenso USA. Pro Kopf ist der Markt in Westeuropa etwa ein Zehntel dessen, was er in Japan und USA ist! Woran liegt dieser beängstigende Unterschied? Wir führen eben Untersysteme an. Man sehe sich nur an, wer die PCs herstellt und auch andere Geräte. Es ist uns in Europa nicht gelungen, eine eigenständige große digitale Industrie in dem Maße aufzubauen, wie es in Japan und USA geschehen ist. Wenn Sie sich die Steigerungsraten ansehen, werden Sie sehen, daß Korea, vor allen Dingen aber auch Taiwan und Singapur, aufholen.

Beachten Sie das Verhältnis: Die dunklen Teile sind die integrierten Schaltkreise wertmäßig, rechts sind es die konventionellen Bauelemente (Sicherungen, Schalter, Widerstände, Kondensatoren, Verbindungsdrähtchen usw.). Das Verhältnis von dunkel zu hell gibt also ein Maß für die Modernität eines Marktes. Man kann das verfolgen über die Jahre und Jahrzehnte hin, wie es sich immer mehr in das blaue Niveau hineinschiebt, immer mehr in das integrierte elektronische Funktionsgebilde des Siliciumkristalls. Japan erreichte bereits im Jahre 1989 1:1 und im Jahre 1990 wertmäßig einen größeren Markt für integrierte Schaltkreise, als für den ganzen Rest zusammen, während wir in Europa noch weit davon entfernt sind.

Bitte aber bedenken Sie, daß Bild 13 nur den Markt zeigt. Wer bedient diesen Markt in Europa? Nicht wir Europäer selbst, sondern wir sind Importeure, vor allem aus Ostasien. Zwei Drittel der Schaltkreise müssen wir einführen; bei den neueren Bauelementen liegen die Anteile aus dem Import noch höher. Die überraschende europäische Marktschwäche heißt vor allen Dingen, daß wir schwache Weiterverarbeiter von Mikrochips sind. Wir führen aber gleich die gesamten gefertigten Systeme ein: Computer, Fax-Geräte, Unterhaltungselektronik. Große Wertschöpfung auf strategisch wichtigen Gebieten fehlt: Keine Lobby erzwingt einen wirklich so bezeichnaren Vertrag für das 21. Jahrhundert.

Machen wir noch einen weiteren Vergleich zwischen den beiden Elementen: Bild 14 gibt eine Statistik wieder, die die Bundesanstalt für Arbeit regelmäßig herausgibt. Ein Zehnjahresvergleich der Arbeitsplätze in der Bundesrepublik für die Jahre 1974 – 1984 wird präsentiert. Zehn Jahre in dieser Zeit des Wandels geben ein Maß für die Entwicklung und Modernisierung. In der Tat sind die Dienstleistungsberufe sehr viel stärker geworden. Aber noch bedeutsamer ist der erstaunliche Anstieg um 5 % im Bergbau. Ein großer Erfolg der europäischen

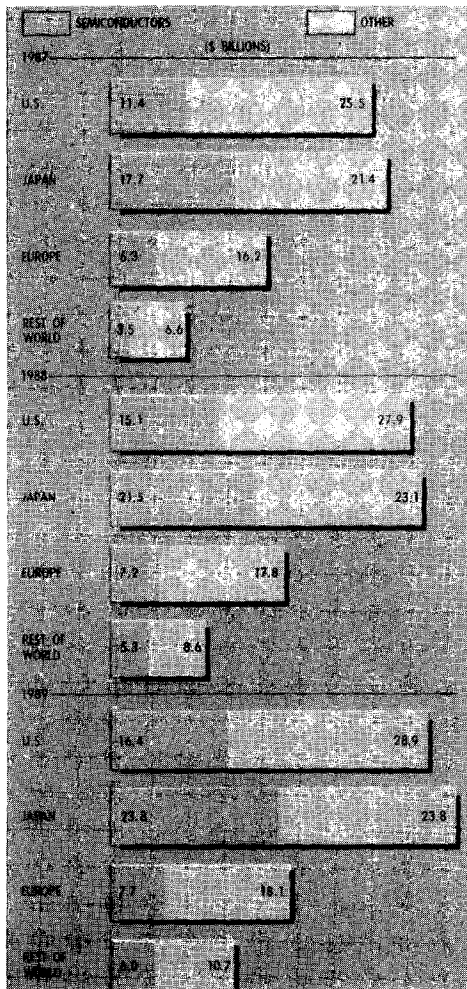


Bild 13

Marktverteilungen 1987 bis 1989 für elektronische Bauelemente. Europa zeigt Schwächen, ganz besonders bei den moderneren Komponenten, die die jeweils rechten Teile der Balken andeuten (in Milliarden US Dollar; aus der Zeitschrift „electronics“).

FAZ Beschäftigte nach Wirtschaftsabteilungen und -gruppen

	30. Juni 1974 absolut in %	31. März 1984 absolut in %	30. Juni 1974 absolut in %	31. März 1984 absolut in %
Land-, Forstwirtschaft, Fischerei	202 534 100	213 048 100,7		
Energie, Bergbau	448 010 100	481 133 107,4		
Energiwirtschaft	220 884 100	242 993 110,4		
Bergbau	227 426 100	238 140 104,7		
Verarbeitendes Gewerbe	9 818 402 100	7 857 848 85,3		
Chem. Industrie	151 249 100	981 888 90,9		
Kunststoff-verarbeitung	351 508 100	330 508 94,0		
Steine, Erden				
Glas	440 553 100	320 237 72,7		
Eisen- und Stahl-erzeugung	412 805 100	278 116 87,7		
Gießerei	142 244 100	104 591 73,5		
Zielerzeugung u. a.	274 458 100	257 052 93,7		
Stahl- und Leichtmetallbau	367 777 100	330 053 89,5		
Maschinenbau	1 109 089 100	940 236 84,3		
Fahrzeugbau	893 040 100	1 031 541 104,9		
EDV-Anlagen, Büromaschinen	94 423 100	72 287 76,6		
Elektrotechnik (ohne Z)	1 163 005 100	942 078 81,0		
Feldmechanik, Optik	205 291 100	195 890 94,9		
EMWaren, Spielwaren, Schmuck	507 713 100	403 787 79,5		
Säge- und Holz-verarbeitung	443 184 100	402 824 90,9		
Papierherstellung u. -verarbeitung	190 798 100	155 037 81,3		
Druckerei, Ver- vielfältigung	233 280 100	208 485 89,4		
Leder, Schuhe	117 990 100	89 832 75,9		
Textilherstellung	421 385 100	280 504 66,6		
Bekleidungs- gewerbe	382 780 100	245 144 63,9		
Nahrungs- und Genussmittel	745 378 100	989 825 132,9		
Baugewerbe	1 823 778 100	1 466 188 80,4		
Bauhauptgewerbe	1 285 182 100	1 028 001 79,4		
Ausbau- und Bauhilfsgewerbe	458 894 100	437 185 95,3		
Handel	2 848 340 100	2 189 484 97,8		
Verkehr, Nachrichten- übermittlung	1 033 707 100	994 922 96,3		
Eisenbahnen	220 025 100	141 101 64,1		
Dt. Bundespost	238 040 100	318 828 134,0		
Straßenverkehr	239 191 100	249 877 104,4		
Schiffahrt, Spedition, Luftfahrt	348 484 100	349 816 100,3		
Kreditinstitute, Versicherungs- gewerbe	727 788 100	182 808 25,1		
Dienstleist. sowie anderw. n. gen.	2 901 481 100	3 719 488 127,8		
Gaststätten und Beherbergung	344 173 100	410 594 119,3		
Reinigung, Körperpflege	290 870 100	310 033 106,6		
Wissenschaft, Kunst, Publizistik	684 746 100	604 821 88,3		
Gesundheits-, Veterinärwesen	784 140 100	1 091 435 139,2		
Rechts- und Wirtschaftsberatung	170 255 100	249 891 146,3		
Sonstige Dienstleistungen	847 467 100	843 834 100,3		
Organisationen o. Erwerbscharakt., priv. Haushalte	311 049 100	398 537 128,1		
Gebietskörperschaften, Sozialversicherung	1 290 089 100	1 357 893 105,3		
Gebietskörperschaften	1 138 879 100	1 189 605 104,5		
Sozialversicherung	151 380 100	188 088 124,3		
Ohne Angabe	15 938 X	3 213 X		
Zusammen	29 814 524 100	18 897 111 95,1		

Quelle: Bundesanstalt für Arbeit

durch die Sparte „EDV, Büromaschinen ...“ – und hier sind die ohnehin nur relativ wenigen Arbeitsplätze um fast ein Viertel zurückgegangen. Ein Bereich, der in den USA und in Ostasien um oft zweistellige Zuwachsraten pro Jahr wächst, schrumpft in unserem Lande. Bald werden wir 80 % der in der Bundesrepublik vertriebenen Geräte importieren – ohne daß Demonstrationen die Öffentlichkeit alarmieren. Für mich aber war es darum umso erfreulicher, auf dem Mannesmann Kienzle-Stand hier in Hannover die neuen Rechner, die Peripheriegeräte und die Software-Entwicklungen anschauen zu dürfen, vielen Dank!

Diese Daten sollen als Warnung verstanden sein. Ich möchte nicht polemisieren, wie wir in Europa zwischen den beiden interessanten Elementen Kohle und Silicium wählen, aber ich muß doch ein wenig der Anwalt sein einer Lobby, die es gar nicht gibt. Der Lobby der jungen Wissenschaftler, die auch ich auszubilden versuche in unserem Institut. Die vielen Doktoranden, Forscher und Lehrer, die auf diesem Gebiet der modernen Mikroelektronik ihre ersten Schritte gehen und für die eigentlich in unserem alten Europa eine motivierende, eine interessante und eine schöne Tätigkeit gefunden werden müßte. Wir hätten sehr wohl dazu alle Voraussetzungen. Wir sollten in dieser Wahl in der vierten Hauptgruppe wenigstens eine öffentliche Diskussion zustandebringen, auch wenn es politisch eine schwierige Frage ist. Vielleicht können Sie auch ein wenig dazu beitragen, daß diese öffentliche Diskussion zustandekommt, was wir möglicherweise verpassen, wenn wir nach wie vor den Kohlenstoff und nicht das Silicium wählen.

Bild 14

Statistik der Bundesanstalt für Arbeit, wiedergegeben von der Frankfurter Allgemeinen Zeitung vom 03. 12. 1985. Im Zehnjahreszeitraum stieg die Zahl der Arbeitsplätze im Bergbau, sank aber bei Computern!

Kohlepolitik und der Strategie der Gewerkschaften – zugunsten des Elements Kohlenstoff! Das Silicium wird vertreten

Das Immaterialgüterrecht unter dem Schock der Informatik-Schöpfungen: Das französische Beispiel

Michel Vivant

1. – Eine kürzlich in der französischen Presse veröffentlichte Karikatur beschrieb die fiktive Unterhaltung zweier Personen: „Haben sie das Außenhandelsdefizit erfunden?“ – „Ich habe sogar ein Patent angemeldet.“¹ Sind das Haushalts- oder das Handelsdefizit patentierbar? Oder die starke Mark oder der Franc oder die Ostpolitik? Man kann mit guten Gründen daran zweifeln.

Es sind heute Schöpfungen zu beurteilen, mindestens ebenso fremdartig wie die vielfältigen Entdeckungen der Mikrobiologie, die das traditionelle Gleichgewicht des geistigen Eigentums erschüttern. Dazu gehören die Erfindungen der Informatik, gleichgültig, ob man nun an Software denkt (die Frage ihres Schutzes ist schon ein klassisches Bravourstück des Rechts der Informatik) oder an die Datenbanken, oder zum Beispiel auch an die Expertensysteme oder die Topographien von Halbleitererzeugnissen.

2. – Diese Entwicklungen wurden, seitdem sie am Horizont des Juristen aufgetaucht sind, als unbekannte (Flug-) Objekte betrachtet, mehr noch, als Objekte, die mit keinem bestehenden Rechtsinstitut in Einklang zu bringen waren. Die ersten Studien, die in Frankreich über die Software durchgeführt

wurden, hatten zum Ziel, sie als nicht patentierbar zu erklären², und ihr Schutz mit Hilfe des Urheberrechts wurde lange Zeit verworfen³. Die fehlende Angemessenheit des geltenden positiven Rechts wurde von allen Seiten bestätigt, angefangen von den problematischen Beziehungen zwischen Datenbanken und Urheberrecht⁴ bis hin zu den Mikrochips (vor Verabschiedung des speziellen diesbezüglichen Gesetzes vom 4. Juli 1987). Die Reihe der Beispiele dafür, daß die Informatik-Schöpfungen wohl stets Gegenstand einer besonderen Bearbeitung zu sein scheinen, könnte beliebig fortgesetzt werden.

3. – All das spielt sich auf eine Art und Weise ab, die den Eindruck erweckt, als könne nach dem Eindringen dieser Erfindungen der Informatik in die Welt des geistigen Eigentums we-

1 Wolinski, Le Nouvel Observateur, 22/28 April 1988.

2 J.M. Mousseron, La protection juridique des programmes d'ordinateur, in: La protection des résultats de la recherche face à l'évolution des sciences et des techniques, Litec 1969.

3 Vgl. z.B. R.Plaisant, La protection du logiciel par le droit d'auteur, G.P. 1983, 2, doc. 348.

4 Vgl. „Le Monde gegen Microfor“ (Entscheidung der Cour de Cassation, Assemblée plénière, 30. Oktober 1987).