

Mikro-Chips für Massenmärkte - Innovationsstrategien der europäischen und amerikanischen Halbleiterhersteller in den 90er Jahren*

Erscheint in: Mitteilungen des Verbund Sozialwissenschaftliche Technikforschung, Heft 22, 2000

Klaus-Peter Buss, Volker Wittke

1. Industrielle Basis des digitalen Kapitalismus: Die neue Rolle der Mikroelektronik

Das abgelaufene Jahrzehnt war für die Mikroelektronik-Industrie Europas und der USA ein Zeitraum, in dem sich die Innovationsmodelle tiefgreifend gewandelt haben. Am Ende der 90er Jahre organisieren die Unternehmen Innovationsprozesse mit anderen Strategien und in anderen Strukturen als in den Jahrzehnten zuvor. Zwischen Herstellern und Anwendern der Mikroelektronik hat sich eine neue Arbeitsteilung herausgebildet - Innovationsketten wurden fragmentiert -, und die Produzenten der Mikro-Chips organisieren ihre Prozessinnovationen nach neuen Konzepten. Zwar ist dieser Wandel bislang nicht abgeschlossen; vor allem die Fragmentierung von Innovationsketten scheint weiterzugehen. Dennoch markieren die Veränderungen der 90er Jahre einen unverkennbaren Bruch mit den Entwicklungspfaden, welche die Mikroelektronik in Europa und den USA seit ihrem industriellen Durchbruch in den 60er Jahren verfolgt hat.

Dieser Bruch wird nur verständlich im Kontext ebenso einschneidender Veränderungen bei den Anwendungen: Rolle und Bedeutung der Mikroelektronik haben in den

90er Jahren eine neue Qualität angenommen. Diese Aussage mag überraschen, wurde die Botschaft von der wachsenden Bedeutung der Mikroelektronik für Wirtschaft und Gesellschaft doch schon oft genug verkündet. Seit gut einem Vierteljahrhundert gilt die Mikroelektronik als "neue Technologie", auf deren Grundlage sich eine "zweite industrielle Revolution" vollzieht. Seitdem ist in zahllosen Beiträgen - wie etwa im Bericht von Nora und Minc über die "Informatisierung der Gesellschaft" (1979) oder im Bericht an den Club of Rome über "Mikroelektronik und Gesellschaft" (Friedrichs/Schaff 1982) - auf die Fülle neuer Anwendungen hingewiesen worden, mit denen diese Technologie in zunehmendem Maße Arbeits- und Lebenswelten durchdringen würde. Gleichwohl gibt es gute Gründe dafür, die breitflächige Diffusion der Mikroelektronik in den 90er Jahren nicht so sehr als Einlösung dieser altbekannten Prognosen sondern als eine erneute Zäsur zu interpretieren.

* Der Beitrag stellt Ergebnisse des SOFI-Projektes "Organisation von Innovationsprozessen in der Halbleiterindustrie" vor, das im Rahmen des "Verbundes Sozialwissenschaftliche Technikforschung" vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde. Das Projekt hat die Veränderung von Geschäftsmodellen, Strategien der Entwicklungs- und Fertigungsorganisation sowie der Qualifikationsversorgung in der europäischen und US-amerikanischen Halbleiterindustrie international vergleichend untersucht. Zwischen 1994 und 1999 wurden Erhebungen bei 13 führenden europäischen, japanischen und US-amerikanischen Halbleiterunternehmen (auf Unternehmensebene sowie an rund 30 Fertigungsstandorten in Belgien, Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, den Niederlanden sowie den USA) sowie bei diversen Unternehmen und Institutionen in ihrem Umfeld (Ausbildungseinrichtungen, Regionalentwicklungsagenturen, Verbände, Universitäten usw.) durchgeführt; der Schwerpunkt der Empirie lag im Zeitraum zwischen 1995 und 1997.

Hochleistungselektronik für den Massenmarkt

Das Neue liegt vor allem im Bedeutungsgewinn privater gegenüber professionellen Anwendungen, im Wandel der Mikroelektronik vom Investitions- zum Konsumgut. Noch vor 15 Jahren hatten elektronische High-Tech-Produkte ihren Platz vornehmlich in Büros und Fabriken, beim Militär und in Forschungszentren, während sich die private Nutzung - gemessen an den professionellen Standards - auf technologisch zweitklassige Geräte beschränkte. Diese Konstellation hat sich einschneidend geändert. Die 90er Jahre stehen für den *Einzug digitaler Hochleistungselektronik in die Privathaushalte*. Mit PCs und Modems, Mobilfunk-Handys und Spiele-Konsolen haben bereits zahlreiche leistungsfähige elektronische Systeme hohe Penetrationsraten erzielt, und weitere Produkte werden folgen - etwa digitale Set-Top-Boxen oder Spezialgeräte für den Internet-Zugang (sogenannte Internet-Appliances). Darüber hinaus durchdringt High-Tech-Mikroelektronik zunehmend bereits existierende Konsumgüter wie Hausgeräte, vor allem aber Automobile. Der private Konsum hat sich zu einem Feld technisch anspruchsvoller Digital-Elektronik entwickelt, von dem mittlerweile wichtige Impulse für das Innovationsgeschehen der Mikroelektronik ausgehen. Kompakte, preiswerte Massenprodukte sind nicht länger gleichbedeutend mit technischer Anspruchslosigkeit. Die High-Tech-Elektronik hat in den 90er Jahren buchstäblich den Weg "vom Pentagon ins Wohnzimmer" (Wittemann 1995) zurückgelegt.

Die Popularisierung digitaler Hochleistungselektronik ist selbst Ausdruck einer radikalen Veränderung gesellschaftlicher Kommunikations- und Konsumformen, die in den 90er Jahren begonnen hat und die in ihrer Reichweite mit der Revolutionierung von Lebensgewohnheiten durch die massenhafte Verbreitung des Automobils vergleichbar ist. In der raschen Ausbreitung mobiler Telefonie sowie privater PC- und Internetnutzung scheinen die lebensweltlichen Umwälzungen wohl am deutlichsten auf. Gewiss, weder die Reichweite dieses Wandels lässt sich gegenwärtig halbwegs gesichert diagnos-

tizieren noch lassen sich die neuen Kommunikations- und Konsumformen bereits genau benennen. In unserem Zusammenhang sind allerdings schon die leicht mess- und zählbaren Veränderungen höchst relevant: Ende der 90er Jahre wurden weltweit jährlich weit mehr PCs und digitale Mobilfunk-Handys produziert und abgesetzt als Automobile.¹ Die Geräte, die gegenwärtig die industrielle Grundlage des digitalen Kapitalismus² bilden, haben dem Automobil als dem Leitprodukt des Industriekapitalismus von den Stückzahlen her klar den Rang abgelaufen.

Das technische Herzstück der Leitprodukte des digitalen Kapitalismus stellen komplexe, hochintegrierte Schaltkreise dar - die sogenannten Mikro-Chips. Für ihre Hersteller - die Halbleiter-Produzenten - bedeutet das Vordringen der Hochleistungselektronik in die privaten Haushalte das Entstehen neuer Massenmärkte gerade für komplexe und technisch anspruchsvolle Chips mit vergleichsweise hoher Wertschöpfung. Lag der Halbleiteranteil an den Gerätekosten bei Großrechnern noch bei etwa 10 %, so machen Mikro-Chips mittlerweile bei PCs, Modems, Handys und Spiele-Konsolen zwischen einem Drittel und der Hälfte der Wertschöpfung aus. Das Entstehen der neuen Massenmärkte hat der Halbleiterindustrie in den 90er Jahren ein Wachstum von 13 % im Jahresdurchschnitt beschert. Damit gelang es dieser Industrie, ihr seit der Pionierphase hohes Wachstumstempo über einen ungewöhnlich langen Zeitraum nahezu unvermindert beizubehalten (seit Ende der 50er Jahre - d.h. seit mittlerweile 40 Jahren - liegt das durchschnittliche jährliche Wachstum dieser Industrie bei 15 %). Am Ende der 90er Jahre ist die Halbleiterin-

1 Im Jahr 1999 standen einer weltweiten Produktion von 54,7 Mill. Kraftfahrzeugen - davon knapp 39 Mill. Pkw - die Produktion von 113 Mill. PCs und 284 Mill. Handys gegenüber (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles - OICA; Dataquest; International Data Corporation - IDC).

2 Der Begriff "digitaler Kapitalismus" wurde im deutschsprachigen Kontext von Glotz (1999), im angelsächsischen Kontext von Schiller (1999), wenn auch mit jeweils unterschiedlichen Konnotationen, eingeführt. Wir verwenden den Begriff, weil er besser als der Terminus "Informationsgesellschaft" die Verbindung kapitalistischer Entwicklungslogik und neuer gesellschaftlicher Anwendungen (auf der Grundlage breitflächiger Nutzung digitaler Mikroelektronik) zum Ausdruck bringt. Dabei gehen wir davon aus, dass diese Verbindung die gegenwärtige Veränderungsdynamik gesellschaftlicher Arbeit wesentlich prägt.

dustrie auf diese Weise zu einer Branche mit einem Umsatz von weltweit 275 Mrd. DM herangewachsen.

Diese Zahlen sind zwar eindrucksvoll. Dennoch wird die Popularisierung digitaler Hochleistungselektronik - anders als seinerzeit die Verbreitung des Automobils - nur zum Teil in neuen Fabrikationsstätten, wachsenden Umsatz- und Beschäftigtenzahlen der beteiligten Hersteller sichtbar. Hierzu trägt einerseits bei, dass die technischen Systeme im digitalen Kapitalismus nur mehr zu Bruchteilen aus industriell gefertigten Produkten bestehen. Der Großteil des Aufwandes besteht hingegen in Dienstleistungen: beispielsweise in Software, die eine Nutzung von PCs erst ermöglicht; oder in den Leistungen der Netzbetreiber, die es erst erlauben, mit dem technischen Artefakt "Handy" auch tatsächlich Telefongespräche führen zu können; oder in den Leistungen von Internet Service Providern und Inhaltsanbietern, die den Wandel des Internet zu einem neuen Massenmedium erst ermöglicht haben.

Andererseits gilt für die Hardware-Produktion im digitalen Kapitalismus, dass umfangreiche Features kein Argument für hohe Preise sind. Insbesondere für private Anwendungen dürfen die Geräte unabhängig von ihrer technischen Leistungsfähigkeit kritische Preisniveaus nicht überschreiten. Der Wandel der Mikroelektronik vom Investitions- zum Konsumgut wäre daher ohne eine permanente Verbesserung der Preis-/Leistungs-Relation für die Hochleistungselektronik kaum möglich gewesen. Mit ihren Produkt- und Prozessinnovationen zielen die Hersteller nicht nur auf die Integration zusätzlicher Features, sondern zugleich auf Kostendegression und Niedrigpreise.³ Ende der 90er Jahre wird eine Rechenleistung, die der eines Großrechners in den 70er und einer Workstation in den 80er Jahren entspricht,

zum Preis eines besseren TV-Empfängers angeboten. Stärker als in den fordistischen Industrien koppelt sich die Erweiterung der Leistungsmerkmale - der Zuwachs an Gebrauchswerten - von der Umsatz- und Beschäftigungsexpansion ab.

Neues Innovationsmodell für neue Massenmärkte

Der breitflächige Einzug der Hochleistungselektronik in den Massenkonsum fand auf der Grundlage einer tiefgehenden Veränderung der Organisation von Innovationsprozessen statt - er fußt auf der Herausbildung eines neuen Innovationsmodells. Das neue Innovationsmodell gewährleistet genau jene Verbindung von Höchstintegration und rascher Kostendegression, die für die Dynamik der neuen Massenmärkte charakteristisch ist.⁴ Unsere These ist, dass für die Herausbildung des neuen Innovationsmodells in der Halbleiterindustrie seit Mitte der 80er Jahre Veränderungen von Strategien und Strukturen entlang der folgenden vier Dimensionen relevant sind:

- Strategische Neuausrichtung der großen Chip-Produzenten: Fokussierung auf design-intensive, anwendungs-spezifische Chips in großen Stückzahlen.
- Neue Governance-Strukturen: Die vertikale Integration der Halbleiter- in die Systemhersteller wird zur Ausnahme; gleichzeitig entstehen neue Austauschbeziehungen zwischen diesen beiden Akteursgruppen.
- Neue Strategien zur Technologieentwicklung: Aufbau von Technologieentwicklungszentren, die eine fertigungsgerechte Entwicklung neuer Prozesstechnologien verbessern und den Transfer dieser Prozesse in die Serienfertigung beschleunigen.
- Neue Organisations- und Arbeitseinsatzkonzepte in der Serienfertigung, die die Fähigkeit der Fertigung zu inkrementellen Veränderungen erhöhen. Die

³ Der langjährige Vorstandsvorsitzende von Intel, Andrew Grove, skizziert diese Hersteller-Strategie und ihre Implikationen: "... price for what the market will bear, price for volume, then work like the devil on your costs so that you can make money at that price. This will lead you to achieve economies of scale in which the large investments that are necessary can be effective and productive and will make sense because, by being a large-volume supplier, you can spread and recoup those costs. By contrast, cost-based pricing will often lead you into a niche position, which in a mass-production-based industry is not very lucrative" (Grove 1996, S. 52).

⁴ Wenn wir hier von einem neuen Innovationsmodell sprechen, meinen wir damit relevante Gemeinsamkeiten in den Innovationsstrategien der Halbleiterhersteller - ähnlich wie die Rede vom Modell industrieller Massenproduktion auf Gemeinsamkeiten in den Unternehmensstrategien und -strukturen abstellt.

Realisierung dieser Konzepte hat einen steigenden Bedarf an mittleren technischen Qualifikationen zur Folge.

Es mag wenig überraschen, dass sich das neue Innovationsmodell zunächst in der US-Mikroelektronik herausgebildet hat, gelten die USA doch als Geburtsstätte des digitalen Kapitalismus. Vor dem Hintergrund der Diskussion über Innovationsprobleme und -blockaden in Europa ist es allerdings bemerkenswert, dass sich diese Veränderungen auch in der europäischen Halbleiterindustrie abspielen. In vieler Hinsicht unterscheiden sich die Innovationsstrategien der US-Hersteller heute nicht mehr grundlegend von denen europäischer Unternehmen, für die 90er Jahre kann man mit Fug und Recht von konvergenten Entwicklungen sprechen. Gewiss, auch am Ende des abgelaufenen Jahrzehnts sind Märkte und Geschäftsmodelle, Organisationsstrukturen und Innovationspraktiken nicht identisch. Aber anders als noch in den 70er und 80er Jahren stehen in der Mikroelektronik die Differenzen zwischen den USA und Europa nicht mehr für den Unterschied zwischen Erfolgsmodell und Sorgenfall. Vielmehr ist es den europäischen Unternehmen in den 90er Jahren gelungen, in punkto Innovationsfähigkeit den Anschluss an die auf dem Weltmarkt führenden Anbieter zu finden. Der technologische Rückstand ist wettgemacht, und seit Mitte der 90er Jahre arbeiten sie auch profitabel.⁵ Die drei großen europäischen Hersteller - Siemens/Infineon, Philips sowie der französisch-italienische Hersteller STMicroelectronics - haben sich Ende der 90er Jahre unter den zehn weltweit größten Halbleiterherstellern festgesetzt. Damit befinden sich erstmals in der Geschichte der industriellen Mikroelektronik drei europäische Unternehmen unter den zehn größten Halbleiterherstellern.

Wir werden im folgenden die Veränderungen entlang der vier genannten Dimensionen skizzieren (2. bis 5.). Abschließend stellen wir die Frage, inwieweit die Er-

gebnisse dieser Veränderungsprozesses über die Jahrhundertwende hinaus Bestand haben werden.

2. Anwendungsspezifische Chips für Massenmärkte: Die strategische Neuausrichtung der Halbleiterhersteller

Bis in die 80er Jahre waren die Unterschiede zwischen der Mikroelektronik Europas und der USA überdeutlich. Die *US-Unternehmen* hatten seit den späten 40er Jahren das Innovationsgeschehen in der Mikroelektronik bestimmt, vom Transistor über den Mikro-Chip (dem integrierten Schaltkreis oder kurz IC) bis hin zum Mikroprozessor stammten die Basisinnovationen aus ihren Labors. Ihre über lange Zeit weltweit führende Rolle (bis in die 70er Jahre bestritten US-Hersteller zwischen zwei Drittel und drei Viertel der Welthalbleiterproduktion) schlug sich auch darin nieder, dass die US-Mikroelektronik bis in die 80er Jahre die komplette Palette von Halbleiterbauelementen gefertigt hat. Zwar existierte eine Arbeitsteilung innerhalb der Branche, aber bei vielen Herstellern war eine Mischung ihres Produktportfolios aus Standardprodukten einerseits und Chips für spezielle Anwendungen andererseits verbreitet.

In den 80er Jahren sahen sich die amerikanischen Hersteller zunehmender Konkurrenz durch japanische Chip-Produzenten ausgesetzt. Als Folge sanken ihre Weltmarktanteile drastisch, und eine Reihe von Herstellern arbeitete – zum Teil erstmals in ihrer Unternehmensgeschichte - mit Verlusten. Dabei brachten die japanischen Hersteller mit ihren auf die Prozesstechnologie ausgerichteten Strategien die amerikanische Konkurrenz vor allem im Bereich der Massenproduktion von Standard-Chips in Schwierigkeiten, die anwendungs- und kundenunspecifisch “von der Stange” produziert und vertrieben wurden.⁶

Die US-Hersteller reagierten auf diese Krise mit einer weitreichenden Neuausrichtung ihrer Geschäftsmodelle.

⁵ Lediglich Siemens-Halbleiter hatte 1998 einen Verlust-Einbruch zu verzeichnen, schreibt aber mittlerweile ebenfalls wieder schwarze Zahlen.

⁶ Das wichtigste dieser Produkte waren Speicher-Chips - die sogenannten DRAMs (Dynamic Random Access Memories).

Sie zogen sich aus der Produktion von Standard-Chips zurück und konzentrierten sich auf Halbleiter mit anwendungsspezifischem System-Know-How (sog. "design-intensive" Chips). Das Ziel hierbei war, sich über die im Chip-Design verkörperte Produktfunktionalität zu differenzieren (Angel 1994; Buss/Wittke 1996; Lester 1998). In früheren Jahren wäre diese Spezialisierung auf anwendungsspezifische Chips gleichbedeutend mit einer Ausrichtung auf Marktnischen mit geringen Stückzahl- und Umsatzvolumina gewesen. Den US-Herstellern ist es seit Mitte der 80er Jahre allerdings gelungen, einige dieser hochkomplexen, "eigentlich" anwendungsspezifischen Chips in neue Standard-Produkte zu verwandeln und diese in großen Stückzahlen herzustellen. Dabei kam ihnen zugute, dass sich bei der in dieser Phase wichtigsten Anwendung für die neue Strategie - dem PC - eine Standardisierung der System-Architektur durchgesetzt hatte. Begünstigt durch die ungewollte Geburtshilfe von IBM entwickelte sich ein De-Facto-Standard bei den Mikroprozessoren (in dem ein Großteil der System-Architektur materialisiert ist), auf dessen Grundlage die PCs unterschiedlicher Hersteller kompatibel waren. Das funktionale Herzstück der PCs wurde von wenigen, von den Computerherstellern unabhängigen Chip-Produzenten (wie Intel, Motorola und AMD) in großen Volumina unter ständiger Verbesserung des Preis-/Leistungsverhältnisses gefertigt. Der PC als neue Leitprodukt der Halbleiterindustrie wurde zum Massenprodukt, die Stückzahl der weltweit produzierten PCs hat sich in den letzten 15 Jahren um mehr als das siebenfache erhöht. Lieferten die Computerhersteller Mitte der 80er Jahre 15 Mill. PCs (1985) aus, ist diese Zahl bis Ende der 90er Jahre auf 113 Mill. Stück (1999) gestiegen. Der durch die Erfolgsgeschichte des PC geschaffene Massenmarkt für Hochleistungselektronik erweiterte sich im Laufe der 90er Jahre dann um weitere Anwendungen, von denen die US-Chip-Produzenten ebenfalls profitierten.

Demgegenüber war die *europäische Mikroelektronik* in den 70er und 80er Jahren in einem Teufelskreis gefangen. Als Folge ihrer Ausrichtung auf europäische Anwender war sie auf den innovativen und quantitativ re-

levanten (US-)Märkten nicht präsent und bewegte sich vielfach auf Nischenmärkten. Die von den Europäern angebotenen Produkte - wie auch ihre Prozesstechnologie - befand sich nicht auf dem neuesten Stand von Integration und Miniaturisierung; Defizite gab es vor allem in der Digital-Elektronik. Die eine Schwäche (Nichtpräsenz auf Märkten) war zugleich Ursache wie Folge der anderen (technologischer Rückstand). Die "technologische Aufholjagd", mit der Siemens, Philips und die französische Mikroelektronik in den 80er Jahren über die Prozesstechnologie den Ausbruch nach vorn wagten, zeitigte zunächst - trotz hoher finanzieller Aufwände - nicht die erhofften Ergebnisse. Den Europäer gelang es zwar, bei der Prozesstechnologie für die Digital-Elektronik den Abstand zu verringern, aber das dazugehörige Produktportfolio bestand im wesentlichen aus Standardprodukten und kaum höchstintegrierten, design-intensiven Chips. Von der Dynamik, die der PC als Leitprodukt für die neuen Massenmärkte in den USA entfachte, blieben sie weitgehend ausgeschlossen.

Als sich die Verluste zu Beginn der 90er Jahre kumulierten, stand die Halbleiterfertigung bei den großen Herstellern in Deutschland, Frankreich und den Niederlanden ernsthaft zur Disposition. Ähnlich wie in den USA war dann aber auch in Europa die Krise der Auslöser für eine weitreichende Reorganisation. Die großen europäischen Hersteller orientierten sich ebenfalls auf anwendungsspezifische, design-intensive Chips für die neuen Massenmärkte. Die strategische Neuausrichtung verlief zwar nicht so schnell und durchschlagend wie im Fall der großen US-Hersteller; beispielsweise spielten die Standard-Produkte (vor allem Speicher-Chips) noch über einen längeren Zeitraum eine wichtige Rolle im Produktportfolio. Als (Zwischen-)Ergebnis der strategischen Neuausrichtung am Ende der 90er Jahre kann man festhalten, dass die großen europäischen Halbleiterhersteller an den neuen Massenmärkten des digitalen Kapitalismus partizipieren. Aber zum Ende des Jahrzehnts hat die Neuausrichtung an Fahrt gewonnen. Ihre Stärken liegen zwar nach wie vor nicht bei den Mikroprozessoren für PCs - dem Markt von Intel und AMD. Aber mit Chips für Handys und digitalen Set-Top-Bo-

zen, für Smart-Cards oder für die Automobil-Elektronik sind sie in relevanten Segmenten der neuen Massenmärkte vertreten. Dabei kommt ihnen zu Gute, dass die europäischen Systemhersteller in diesen Segmenten auf dem Weltmarkt zu den führenden Anbietern gehören.

3. Vom "Fordismus" zum "Wintelismus"? Veränderung der Governance-Strukturen

In der industriellen Mikroelektronik hat sich der Typ des Chandlerschen - vertikal integrierten - Unternehmens in den 90er Jahren besonders weitreichend zugunsten von Produktions- und Innovationsnetzwerken aufgelöst. Die Endgeräte- bzw. Systemhersteller- die Produzenten von PCs, Handys oder Modems - entwickeln und fertigen die wichtigsten Komponenten dieser Geräte, die Chips, nur noch in den seltensten Fällen inhouse. Die Entwicklung und Produktion von Halbleitern ist statt dessen nahezu vollständig zu einer Aktivität spezialisierter Zulieferer geworden. Diese Governance-Strukturen haben die Spielräume der Halbleiterhersteller für die Realisierung anwenderübergreifender ‚economies of scale‘ erhöht und damit eine wichtige Voraussetzung für Innovationsstrategien geschaffen, die mit einer Verbesserung des Preis-/Leistungsverhältnisses auf die neuen Massenmärkte abzielen.

Spezialisierte Zulieferer sind in der Mikroelektronik kein neues Phänomen. In den USA war die Pionierphase dieser Industrie bis in die frühen 70er Jahre bekanntlich von Start Ups geprägt, die sich auf die Halbleiterfertigung spezialisiert und keine eigenen Endprodukte hergestellt haben. Zahlreiche Produkt- und Prozessinnovationen gehen auf diese, zu einem Großteil im Silicon Valley regional vernetzten Unternehmen zurück (Saxenian 1994; Voskamp/Wittke 1994; Buss/Wittke 1996). Die Fragmentierung der Innovationsketten, die wir in den 90er Jahren beobachten können, ist jedoch keine Fortsetzung dieses Innovationsmodells der Pionierphase. Denn zum einen waren das Gewicht wie das Know-How der Start Ups in den Innovationsketten der Mikroelektronik mit den heutigen Verhältnissen nur

schwer vergleichbar. Seinerzeit waren weit weniger Funktionen in die Bauelemente integriert. Es steckte weit weniger Systemwissen der Anwender in den Halbleitern - es gab noch keine höchstintegrierten design-intensiven Chips.⁷ Vielfach wurden die Halbleiter auch nicht kunden- und anwendungsspezifisch, sondern für standardisierte Spezifikationen entwickelt und per Katalog angeboten, aus dem sich die Produktentwickler der Gerätehersteller dann bedienten.

Zum anderen repräsentierten die Start Ups nicht die Gesamtstruktur der Halbleiterindustrie. Bis in die 80er Jahre hat eine Reihe von Systemherstellern Halbleiter inhouse entwickelt und gefertigt. *In den USA* waren dies vor allem die großen Hersteller von Computern (IBM, Digital Equipment, Hewlett Packard u.a.), Telekommunikations-Equipment (AT&T), Automobil- und Rüstungselektronik (Ford, GM/Delco, Lockheed usw.).⁸ Die Governance-Strukturen folgten hier durchaus den von Chandler für einschlägig erachteten Strategien. Von ihrer Inhouse-Fertigung erhofften sich die Großunternehmen die Verfügung über proprietäre Technologien, mit deren Hilfe sie sich auf der Endgeräte-Ebene gegenüber der Konkurrenz differenzieren konnten. Von daher boten die US-Systemhersteller mit interner Halbleiterfertigung ihre Komponenten auch nicht auf dem freien Markt an. *In Europa* dominierten die großen Elektronikkonzerne - Siemens, Philips, AEG, Thomson u.a. - mit ihren Inhouse-Fertigungen sogar die Halbleiterindustrie. Im Unterschied zu den amerikanischen Systemherstellern lieferten sie zwar auch an Externe, aber auch für die Europäer stand als Kalkül hinter der Inhouse-Fertigung der Zugriff auf die Halbleitertechnologie. Vor allem in den 80er Jahren, als die Digital-Elektronik auch in zahlreiche traditionelle Anwendungsfelder der europäischen Elektronikhersteller eindrang (Telekommuni-

7 Chandler macht darauf aufmerksam, dass Intel für die Entwicklung seiner komplexen PC-Prozessoren in der zweiten Hälfte der 80er Jahre weit mehr Ressourcen und Know-How benötigte als den Start Ups in der Pionierphase zur Verfügung stand. "The development of the 386 and the 486 required the funds, the knowledge, and the skills that were not available to entrepreneurial start ups" (Chandler 1997, S. 99).

8 Mitte der 80er Jahre betrug der Anteil der Inhouse-Fertigungskapazitäten an der Gesamtproduktion der US-Halbleiterindustrie rund 30 % (ICE 1986, S. 49 ff.).

kation, Industrie- und Automobilelektronik), war die Sicherung der technologischen Unabhängigkeit im Systemgeschäft (gegenüber Zulieferern aus Übersee) ein wichtiges Motiv für aufwändige Auf- und Ausbaustrategien in der Chip-Produktion.

In den 90er Jahren haben sich diese Governance-Strukturen nachhaltig verändert. Mit dem Vordringen der Hochleistungselektronik in die neuen Massenmärkte ist die Inhouse-Fertigung alter Prägung in den USA wie in Europa nahezu komplett von der Bildfläche verschwunden. Ein Teil der großen Systemhersteller hat seine Inhouse-Aktivitäten eingestellt. Andere, wie jüngst der Siemens-Konzern mit Infineon, haben die Halbleiterfertigung verselbständigt und aus dem Unternehmensverbund ausgegliedert. In den Fällen, in denen die Chip-Sparte nach wie vor vertikal integrierter Bestandteil eines Systemherstellers ist (etwa bei Philips oder IBM), wird sie innerhalb des Unternehmens nicht mehr mit dem Bonus einer internen Technologie-Schmiede versehen, sondern als Geschäftsfeld wie andere auch betrachtet. Bis auf wenige Ausnahmen⁹ agieren am Ende der 90er Jahre auch die Halbleiterfertigungen der großen Systemhersteller wie unabhängige spezialisierte Zulieferer. Diese neue Governance-Struktur gilt nicht nur für amerikanische, sondern auch für die großen europäischen Hersteller (Philips, Siemens, STMicroelectronics). Ausgliederung und Börsengang von Infineon markieren in diesem Zusammenhang den Endpunkt einer sich über fast zehn Jahre hinziehenden Rollenveränderung des Halbleiterbereichs im Siemens-Konzernverbund.

Die Governance-Strukturen der 90er Jahre bedeuten eine Entkopplung von Halbleiterfertigung und Systemgeschäft. Damit ergeben sich für die Halbleiterhersteller erweiterte Möglichkeiten zur Realisierung von ‚economies of scale‘, die für Innovationsstrategien auf den neuen Massenmärkten so entscheidend sind. Denn an-

ders als herkömmliche unternehmensinterne Komponentenfertiger, die entweder exklusiv das unternehmenseigene Systemgeschäft beliefern oder dieses doch bevorzugen, sind spezialisierte Zulieferer auf eine breite Vermarktung ihrer Kompetenzen und Ressourcen angewiesen und damit auf eine anwenderübergreifende Bündelung von Stückzahlen ausgerichtet. Hieraus ergeben sich Skaleneffekte nicht nur für die Fertigung, sondern darüber hinaus auch für die Produkt- und Prozessentwicklung. Die Frage ist allerdings: Welche Art von Austauschbeziehung zwischen Halbleiter- und Systemhersteller tritt an die Stelle vertikaler Integration? Anders gefragt: Werden optimale Rahmenbedingungen für Innovationsstrategien bei höchstintegrierten anwendungsspezifischen Chips durch eine besonders weitreichend Entkopplung von Halbleiter- und Systemhersteller gewährleistet - also letztlich durch Marktbeziehungen? Oder bieten komplexere Austauschbeziehungen Vorteile in unternehmensübergreifenden Innovationsprozessen?

Folgt man der einschlägigen Literatur über die PC-Branche, scheint viel für lose Kopplungen und Marktbeziehungen zu sprechen. So bricht Grove (1990; 1996) bereits seit längerem eine Lanze für die Vorzüge einer „new horizontal computer industry“. Im Unterschied zur „old vertical computer industry“ der Großrechner-Ära ist diese durch eine weitgehende Unabhängigkeit der Akteure auf den unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen (Halbleiter, Computer, Betriebssystem, Anwendungssoftware und Vertrieb) gekennzeichnet. Auf jeder Stufe konkurrieren jeweils spezialisierte Anbieter („horizontale Konkurrenz“). An die Stelle der großen Computerhersteller, die die Wertschöpfungsstufen ehemals vertikal integrierten, scheint hingegen nichts außer Marktbeziehungen zu treten. Borrus und Zysman haben für die neuen Governance-Strukturen der Elektronikindustrie mit ähnlicher Stoßrichtung den Terminus „Wintelismus“ geprägt - in Anspielung auf die beiden relevantesten Komponentenproduzenten der PC-Industrie (Intel und Microsoft mit seinem Windows-Betriebssystem). „Wintelism“ is the code we use to reflect the shift in competition away from final assembly and vertical

⁹ Die gegenwärtig relevanteste Ausnahme ist die Halbleiterfertigung von Hewlett-Packard, die nach wie vor ausschließlich als Inhouse-Fertigung betrieben wird. Allerdings rangierte die Chip-Produktion von Hewlett-Packard vom Geschäftsvolumen her Ende der 90er Jahre nicht einmal unter den Top 10 der US-Hersteller.

control of markets by final assemblers" (Borrus/Zysman 1997, S. 1). Der Kontrast zu den Strukturen fordristischer Massenproduktion besteht in diesem Konzept nicht nur in einer Verschiebung der Gewichte zu Lasten der Systemhersteller, sondern wesentlich auch in der Fragmentierung der Wertschöpfungsketten mit klar aufgeteilten Kompetenzen. Die Vorzüge des Wintelismus bestehen gerade darin, dass sich die Systemhersteller nicht mit den Problemen der Komponentenfertigern beschäftigen müssen und umgekehrt - dass jeder seiner "Mission" nachgeht. Die Vermittlungsinstanz zwischen den Elementen der Wertschöpfungs- und Innovationsketten ist letztlich der Markt.

Innovationspartnerschaften für die Produktentwicklung

Diese weitreichende Entkopplung zwischen Chip-Produzent und Systemhersteller mag für den PC-Markt seine Richtigkeit haben. Im Fall der neuen Leitprodukte des digitalen Kapitalismus hingegen sind die Austauschbeziehungen zwischen Halbleiter- und Systemhersteller komplexer als es die "Wintelismus"-These nahelegt. Keine der beiden Akteursgruppen verfügt hier über hinreichende Kompetenzen, höchstintegrierte anwendungsspezifische Bauelemente im Alleingang zu entwickeln. Den Halbleiterherstellern fehlt es am nötigen Anwendungs-Know-How im Bereich von Telekommunikation, Computerspielen oder Automobilelektronik; die Systemhersteller hingegen verfügen nicht über ein Arsenal komplexer Schaltkreis-Designs (wie etwa "digitale Signal-Prozessoren"), die den funktionalen Kern höchstintegrierter Chips bilden. Die Halbleiterhersteller sind daher an Austauschbeziehungen mit Systemherstellern interessiert, in denen diese ihre Kenntnisse und Vorstellungen über die zukünftige Anwendung offenbaren. Die System-Hersteller agieren hier als "teaching customers" für die Halbleiterproduzenten, und das Interesse der letzteren richtet sich darauf, möglichst von den marktführenden Anwendern zu lernen. Die Systemhersteller sind umgekehrt ebenfalls auf Kooperationsbeziehungen angewiesen, wobei sie sich vor

allem für den Austausch mit den Halbleiterherstellern interessieren, die über die leistungsfähigsten Produktdesigns und Prozesstechnologien verfügen.¹⁰

Diese, mit diversen Ungewissheiten gespickten, wechselseitigen Abhängigkeiten bilden den Nährboden für Innovationspartnerschaften zwischen Halbleiter- und Systemherstellern. Die Chip-Hersteller sind offenbar stärker daran interessiert, ihre Partner publik zu machen (Referenz-Kunden!) als die Systemhersteller und werben mit entsprechenden Aufstellungen. Nicht selten firmieren die Innovationspartnerschaften dann unter "strategischer Allianz". Dies darf freilich nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Partnerschaft selten eine exklusive Beziehung bleibt. Das Spannungsverhältnis zwischen der Exklusivität proprietären Know-Hows und Skaleneffekten, das gegen eine vertikale Integration von Halbleiter- und Systemgeschäft spricht, wirkt sich auch auf die Innovationspartnerschaften aus. Die Lösung besteht in der Regel darin, dass der Chip-Hersteller die Designs, in die Know-How seines "teaching customer" eingegangen ist, in modifizierter Form- und mit zeitlichem Abstand - auch auf dem Markt und damit der Konkurrenz anbietet. Täte er dies nicht, wäre die Produktentwicklung mangels Stückzahlen zu teuer. Ein Argument, das in der Regel auch den Entwicklungspartnern einleuchtet, da auch sie für ihre Strategien zur Marktdurchdringung auf Niedrigpreise bei den Chips setzen.

An die Stelle vertikaler Integration scheint damit ein Austauschverhältnis zu treten, bei dem Halbleiter- und Systemhersteller bei der Produktentwicklung eng und exklusiv kooperieren. Soweit sie für die Beteiligten zufriedenstellend verläuft und solange die Voraussetzungen erhalten bleiben (dass ein "teaching customer" auch tatsächlich Marktführer, und umgekehrt der Halbleiterhersteller tatsächlich über die leistungsfähigste Chip-Technologie verfügt) kann diese Kooperation über mehrere Entwicklungszyklen hinweg Bestand haben. Aller-

¹⁰ Die verfügbaren Prozesstechnologien limitieren die Komplexität des Chip-Designs - d.h. die Zahl der Transistoren sowie weitere Randbedingungen wie Signallaufzeiten oder die Leistungsaufnahme.

dings bleiben die Ergebnisse gemeinsamer Entwicklungsarbeiten nur für einen bestimmten Zeitraum exklusiv.

4. Neue Strategien der (Prozess-)Technologieentwicklung

Das Vordringen der Hochleistungselektronik in die neuen Massenmärkte wäre nicht vorstellbar ohne weitreichende Veränderungen in der Organisation von Prozessinnovationen. Die Wettbewerbsstrategien der amerikanischen und europäischen Chip-Hersteller auf diesen Märkten stellen neue Anforderungen an ihre Prozessinnovationsfähigkeit, auf die die Unternehmen in den 90er Jahren mit neuen Innovationsstrategien reagiert haben. Die Realisierung dieser Strategien bildet die Grundlage für eben jene Verbesserung des Preis-/Leistungsverhältnisses bei den Bauelementen, die für die Dynamik der neuen Massenmärkte charakteristisch ist.

Schon immer gab es in der Mikroelektronik einen engen Zusammenhang zwischen Produkt- und Prozessinnovationen. Die Möglichkeiten der Chip-Designer zur Entwicklung neuer Features sind davon abhängig, dass ihnen neue Prozesstechnologien zur Verfügung stehen, mit deren Hilfe diese Produkteigenschaften auch realisiert werden können. Die Integration zusätzlicher Funktionen wird typischerweise durch eine Verringerung der Strukturweiten ermöglicht, Prozessinnovationen zielen vor allem auf eine Miniaturisierung der Chip-Strukturen.¹¹

Für die Wettbewerbsstrategien der 90er Jahre spielt nun in mehrfacher Hinsicht der Zeitfaktor eine zentrale Rolle. Ausschlaggebend ist zunächst, wann eine neue Prozesstechnologie für neue Produkte verfügbar ist

(“time to market”). Denn der Erfolg ihrer Innovationsstrategien wird maßgeblich davon bestimmt, ob die Chip-Hersteller als Erstanbieter Premium-Preise erzielen können oder ob sie als Zweit- oder Drittanbieter bereits Preisabschläge hinnehmen müssen. Diese Preisabschläge sind nicht nur das übliche Zugeständnis, mit dem Folge-Innovatoren sich ihr Entree bei den Systemherstellern zu verschaffen suchen. Preissenkungen sind nicht nur der notwendige Bestandteil von Defensiv-Strategien, sie sind auch das Ziel offensiver Wettbewerbsstrategien der Marktführer. Diese sind bestrebt, die aus anfänglich großen Marktanteilen herrührenden Stückzahlen in eine rasche Kostendegression umzusetzen, um mit sinkenden Preisen die Marktanteile gegen die Folge-Innovatoren zu behaupten. Prozessinnovationen werden somit als Hebel verwendet, um ‚first mover advantages‘ in dauerhafte Vorteile umzumünzen. Für diese Strategie ist kritisch, wie schnell die Fertigung auf große Stückzahlen gebracht werden kann (“time to volume”), wie schnell und wie weitreichend die Prozesse in der Großserienfertigung optimiert werden können (“Steilheit der Lernkurve”) und wie weitreichend die Fertigungskapazitäten an eine Nachfrage-Expansion angepasst werden kann (“time to scale up”).

Die neuen Wettbewerbsstrategien stellen die Organisation von Prozessinnovationen unter veränderte Vorzeichen. Zum einen erhält der Übergang von der Technologieentwicklung zur Massenproduktion erhöhtes Gewicht. Was mehr denn je zählt, ist nicht die Verfügbarkeit von Prozesstechnologien in Forschungslabor oder Entwicklungslinie, sondern die Fähigkeit, die Neuentwicklung in die Großserie zu implementieren. Zum anderen verändert sich die Perspektive auf die Fertigung. Inkrementelle Verbesserungen innerhalb der Massenproduktion (die Optimierung von Ausbeuten, Anlagenauslastung und Fertigungsdurchsatz) sind zu wichtigen Bestandteilen der betrieblichen Innovationsstrategien geworden. Mit dieser Umakzentuierung hatten europäische wie amerikanische Hersteller ihre Schwierigkeiten. Für die US-Halbleiterindustrie markierten die Tugenden inkrementeller Veränderungen in Technologie-Entwicklung und Fertigung traditionell die Achillesferse ihres

11 Die Entwicklung der Mikroprozessoren für PCs macht diesen Zusammenhang zwischen Integration und Miniaturisierung deutlich: Für die Produktion des leistungsfähigsten Intel-Prozessor im Jahre 1989 - einen 486 mit 1,2 Mill. Transistoren - reichte es aus, Chips mit minimalen Strukturweiten von 0,8 µm zu fertigen. 10 Jahre später musste Intel bereits in der Lage sein, Strukturweiten von nur noch 0,18 µm fertigen zu können, um die 28 Mill. Transistoren, aus denen der Pentium III Prozessor besteht, auf einem Chip unterzubringen.

Innovationsmodells. Dieses hatte seine Stärken vornehmlich beim Produkt-Design und vernachlässigte die Prozessseite, insbesondere die Serienfertigung; eine Schwerpunktsetzung, die in den 80er Jahren zu den Markteinbußen gegenüber japanischen Herstellern beigetragen hatte (Florida/Kenney 1990; Kenney/Florida 1993; Buss/Wittke 1996). Die Defizite der europäischen Hersteller waren demgegenüber zwar eher grundsätzlicher Natur. Sie hatten die Digital-Elektronik insgesamt vernachlässigt und wiesen in den 80er Jahren einen mehrjährigen Rückstand bei den hierfür erforderlichen Prozesstechnologien auf. Allerdings litt die technologische Aufholjagd, die einige europäische Hersteller Anfang der 80er Jahre mit großem Aufwand gestartet hatten, ebenfalls unter der Schwierigkeit, die neu entwickelten Prozesstechnologien in die Serienfertigung zu implementieren.

Bei allen Unterschieden hatten europäische und US-Hersteller in den 80er Jahren in einer Hinsicht ähnliche Probleme: Sie wiesen Defizite in der Prozessinnovationsfähigkeit auf. Auf beiden Seiten des Atlantiks haben die großen Hersteller diese Defizite als bedrohlich eingeschätzt und dementsprechend reagiert. Die Reorganisationsstrategien setzten dabei sowohl an der Technologieentwicklung wie die Serienfertigung an. Während die neuen Strategien für die Technologieentwicklung vor allem auf die Reduktion der "time to market" und der "time to volume" zielen, versuchen die Hersteller mit neuen Organisations- und Arbeitseinsatzkonzepten in der Serienfertigung vor allem die Optimierungsfähigkeit zu beschleunigen ("steilere Lernkurven" zu realisieren), um damit Spielräume für Preissenkungsstrategien zu gewinnen. Die Vorreiter der neuen Strategien zur Organisation von Prozessinnovationen waren vornehmlich große US-Hersteller - wie Intel und Texas Instruments, aber auch AMD. Allerdings haben die Europäer - ähnlich wie bei den Governance-Strukturen - nachgezogen und im Verlauf der 90er Jahre ihren technologischen Rückstand wettgemacht.

4.1 Das traditionelle Transferproblem: Doppelarbeit und Zeitverlust

Die Schwierigkeiten bei der Implementation neuer Prozesstechnologien in die Serienfertigung hängen damit zusammen, dass der prozesstechnische Fortschritt in größeren Innovationsschritten stattfindet, man spricht in diesem Zusammenhang auch von einer Abfolge von Prozessgenerationen.¹² Ihre Entwicklung ist mit grundlegenden Modifikationen an Anlagen (zum Teil der Verwendung neuer Anlagen), Prozessparametern, der eingesetzten Chemikalien wie der Abfolge von Prozessschritten verbunden. In der Vergangenheit war der Transfer der neuen Prozessgenerationen in die Serienfertigung mit Reibungsverlusten und Zeitaufwand verbunden, was vor allem daran lag, dass die Technologieentwicklung sich nur unzulänglich daran orientierte, fertigungsgerechte Prozesse zu übergeben. Anders formuliert: Der "Sprung" zwischen Technologie-Entwicklung und Serienfertigung war zu groß als dass er reibungslos hätte überwunden werden können.

Dieses Defizit mag in den Fällen wenig überraschen, in denen die Halbleiterherstellung in den 70er und 80er Jahren in Großunternehmen mit einer ausdifferenzierten FuE-Infrastruktur integriert war. Diese hatten in der Regel Forschungslaboratorien und/oder Entwicklungslinien aufgebaut, in denen sie die Entwicklung neuer Prozessgenerationen separat von der Serienfertigung betrieben. Einrichtung und Ausstattung der Labore wichen meist derart stark von den Volumenfertigungen ab, dass der Technologietransfer in die Produktionslinien sich schwierig und zeitaufwendig gestaltete; häufig erforderte die Implementation neuer Prozesse unter diesen Bedingungen beachtliche Modifikationen im Anlauf der Serienfertigung, die diesen in die Länge zogen. Die räumliche Trennung zwischen Labor und Fabrik und die Notwendigkeit, einen neuen Prozess in mehrere, aber unterschiedlich ausgestattete Fertigungsstätten zu transferieren, konnten diese Probleme beträchtlich verschärfen.

¹² Typischerweise ermöglicht eine neue - im Abstand von etwa 2 ½ Jahren auf die Vorgängertechnologie folgende - Prozessgeneration die Reduzierung der Strukturweiten auf den Chips um 30 %.

Demgegenüber hatten die Start Ups im amerikanischen Silicon Valley (wie Intel, AMD oder National Semiconductor) die Technologieentwicklung räumlich - wenn auch nicht organisatorisch - in die Fertigung integriert. Die Prozessentwickler nutzten für ihre Versuche und Testläufe zu einem erheblichen Teil dieselben Einrichtungen, Anlagen und dasselbe Personal wie die Serienproduktion. Aber auch dieses Konzept hatte gewichtige Nachteile. Zum einen beinhaltete die gemeinsame Nutzung von Fertigungslinien einen latenten Streit um Prioritäten. Insbesondere in Zeiten boomender Nachfrage und knapper Fertigungsressourcen stand die Prozessentwicklung in der Gefahr, den Imperativen der an Durchsatz und Output orientierten Serienproduktion Tribut zollen zu müssen (Jelinek/Schoonhoven 1990; Graham/Burgelman 1991). Zum andern definierte die Technologieentwicklung ihre Aufgaben mit der Ablieferung von "Prinzip-Lösungen" als beendet. Die komplette Prozessfolge - die sogenannten Prozessintegration - wurde oft nur sehr eingeschränkt getestet, bevor die Technologieentwicklung als abgeschlossen galt und die neue Prozessgeneration in die Serienfertigung transferiert wurde (Iansiti 1998). Eine Reihe von Schwachstellen neuer Prozesstechnologien zeigt sich aber erst, wenn größere Volumina gefertigt werden.

In beiden Konstellation waren die neuen Prozesstechnologien zum Zeitpunkt ihres Transfers nicht wirklich serienreif. Dementsprechend startete die Serienproduktion oftmals mit geringen Ausbeute-Niveaus. Der Effekt: Die Implementation neuer Prozessgenerationen in die Serienfertigung erforderte nochmalige Modifikationen der Prozesse, ihre Anpassung an die Bedingungen der Fertigungslinie (etwa die Anlagenausstattung) und die Beseitigung von Schwachstellen. Dadurch waren die Engineering-Bereiche der Fertigungswerke in erheblichem Umfang mit Prozessentwicklungsaufgaben befasst. Nicht selten waren diese Modifikationen auch deshalb umfangreich, weil die Ingenieure der Fertigung in diesem Zusammenhang ihr Verständnis von "guten Prozessen" einbrachten - was von Seiten der Prozessentwickler wiederum als "Not-invented-here"-Haltung der Fertigung kritisch beäugt wurde. Insgesamt führten

diese Transferprobleme in erheblichem Umfang zu einer Verdopplung der Entwicklungsarbeiten. Vor allem zog sich die "time to volume" in die Länge, d.h. die Fähigkeit, auf der Grundlage der neuen Prozesstechnologie große Stückzahlen zu produzieren.

4.2 Technologieentwicklungszentren - die aufwendige Alternative

Die konzeptionelle Antwort, die vor allem die großen US-Halbleiterhersteller auf dieses Problem gegeben haben, liegt im Aufbau von Technologieentwicklungszentren, die organisatorisch, zum Teil auch räumlich von der Serienfertigung separiert sind. Diese Zentren firmieren bei den Herstellern unter unterschiedlichen Bezeichnungen. Während die einen sie als "development fab" oder "development center" bezeichnen, nennen andere diese Einrichtung "productization fab", wieder andere "advanced product research and development laboratory". Ebenso unterschiedlich wie die Bezeichnungen ist die Reichweite der Aufgabenstellungen. So haben einige Hersteller ihre gesamte Technologieentwicklung in den Entwicklungszentren konzentriert, während andere daneben nach wie vor Forschungslaborettorien betreiben.

Die konzeptionelle Gemeinsamkeit der Zentren besteht darin, neue Prozessgenerationen möglichst komplett getrennt von den Volumen-Fabriken zu entwickeln; anders als in der Vergangenheit soll der Entwicklungsprozess möglichst vollständig abgeschlossen sein, bevor die neue Technologie in die Serienfertigung transferiert wird. Im Unterschied zur Vorsituation beschränkt sich die vorgelagerte Technologieentwicklung hier nicht mehr in der Lieferung von "Prinzip"-Lösungen (die Demonstration von wenigen guten Fertigungslosen). Vielmehr muss die Frage, ob die gewünschten Produkteigenschaften mit den neuen Prozessparametern auch gesichert reproduziert werden können, nunmehr vor dem Start der Serienproduktion geklärt werden. Konkret sind für die Realisierung von Prozessen, die unter Serienbedingungen reibungslos und reproduzierbar ange-

wendet werden können (“manufacturability”) distinkte Entwicklungsschritte vonnöten, für die das Entwicklungszentrum zuständig ist. Beispielsweise geht es darum, Schwachstellen in der Abfolge der Einzelschritte ausfindig zu machen und anschließend zu entschärfen sowie darum, Prozesse möglichst “einfach” zu gestalten (d.h. mit wenig Prozessschritten, was den Aufwand in der Fertigung reduziert). Mit der Etablierung der Entwicklungszentren wurde die Berücksichtigung von spezifischen, in der Serienproduktion auftretenden Prozessproblemen zum expliziten Bestandteil des Technologieentwicklungsprozesses. Prozesse werden erst dann als reif für den Transfer erachtet, wenn sie zuvor klar definierte Hürden der Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit überschritten haben.

Von der Ausstattung her sind die Entwicklungszentren weitgehend wie die Volumenfertigungen aufgebaut; gerade dadurch soll der reibungslose Transfer der Ergebnisse gewährleistet werden. Die Zentren sind reguläre Chip-Fabriken, ausgestattet mit weitgehende identischen Fertigungsanlagen, die sich nur in der Kapazität von den Produktionswerken unterscheiden. Allerdings werden sie mit einem komplett anderen Konzept betrieben als die Volumenfertigungen - und in diesem Unterschied liegt die organisatorische Innovation gegenüber der Vorsituation. Denn während die eigentlichen Chip-Fabriken auf einen hohen Output hin orientiert sind, werden die Entwicklungszentren auf geringe Durchlaufzeiten optimiert. Der schnelle Durchlauf von Test-Losen sollen die Lernzyklen in der Technologieentwicklung verkürzen. Während in der Massenproduktion der Kapazitätsauslastung hohe Priorität zukommt, sind in den Entwicklungszentren auch teure Anlagen nicht voll ausgelastet, um damit die Test-Lose rasch durch die Linie schleusen zu können. Dadurch lassen sich die Entwicklungsarbeiten gegenüber den restriktiven Umgebungsbedingungen in der Volumenfertigung beschleunigen.

Die Intel-Strategie: In den 90er Jahren erfolgreich ...

Das US-Unternehmen Intel war der Vorreiter dieser Strategie. Intel hat das neue Konzept nicht nur besonders früh (Ende der 80er Jahre) realisiert, sondern dem Technologieentwicklungszentrum auch besonders weitreichende Kompetenzen und Zuständigkeiten zugewiesen, die Prozessentwicklung wurde rigoros zentralisiert. Der Transfer von Prozesstechnologien erfolgt hier nach umfänglichen und besonders strikt einzuhaltenden Vorgaben. Die dahinter stehende Philosophie - “copy exactly!” - hat innerhalb der Branche schon fast legendären Ruf. Relevante Veränderungen an den Prozesstechnologien dürfen von den Produktionswerken nur nach vorheriger Abstimmung (und Zustimmung) mit dem Entwicklungszentrum vorgenommen werden. Die Spielräume für die Prozessentwicklung innerhalb der Serienfertigung sind damit deutlich eingeschränkt. Mit diesem ausgesprochen rigiden Konzept ist es dem Unternehmen in den 90er Jahren nicht nur gelungen, die Zeiträume für die Implementation neuer Prozesstechnologien drastisch zu verkürzen.¹³ Die Strategie hat auch dazu beigetragen, dass Intel auf die rasch steigende Nachfrage nach PC-Prozessoren mit einer ebenso raschen Erweiterung seiner Fertigungskapazitäten (in Gestalt mehrerer Fabrik-Neubauten) reagieren konnte. Mit der Vielzahl detaillierter Vorgaben wollte man alle Eventualitäten ausschalten, die einen schnellen und erfolgreichen “ramp up” der neuen Fabriken verhindert hätten. Intel ist ein Beispiel dafür, wie die Verbesserung der Prozessinnovationsfähigkeit in den 90er Jahren zu einem zentralen Bestandteil der Wettbewerbsstrategie auf den neuen Massenmärkten geworden ist.

13 “By 1995, Intel had significantly increased its rate of new process implementation - the speed increase measured at more than one year, just between 1992 and 1995. They also utterly eliminated the U-shaped yield curves, achieving seamless transfer from development to manufacturing and from fab to fab” (Iansiti 1998, S. 161).

... aber kein Königsweg

Auch andere US-Hersteller - wie Texas Instruments, Motorola oder AMD - haben ihre Prozessinnovationsfähigkeit in den 90er Jahren dadurch verbessert, dass sie Prozessentwicklungszentren mit dem Ziel eingerichtet haben, Prozesstechnologien fertigungsgerecht zu entwickeln. Allerdings ist der Preis hoch, den die Unternehmen dafür zahlen müssen, wenn sie optimale Bedingungen für die Entwicklung und den Transfer neuer Prozesstechnologien schaffen wollen. Denn sie leisten sich die Investitions- und Betriebskosten für eine kleine, aber komplett ausgestattete Fabrik, deren Mission ausschließlich oder weitgehend in der Technologieentwicklung liegt. Vielen Herstellern fällt es zunehmend schwer, diesen Preis zu zahlen.

Ein Weg, um die Kosten für das Entwicklungszentrum zu reduzieren, besteht darin, es nicht ausschließlich für die Technologieentwicklung zu nutzen. Einige Hersteller fertigen auch Prototypen in ihrem Entwicklungszentrum, manche sogar die Volumenproduktion beim Anlauf neuer Produkte (solange die Stückzahlen für den Transfer in eine Serienfabrik noch nicht ausreichen). Aber je stärker die Kriterien der Fertigung Einzug in das Entwicklungszentrum halten, desto eher ergeben sich Zielkonflikte. Die Entwicklung braucht kurze Durchlaufzyklen, während die Fertigung auf Auslastung der Anlagen insistiert; die Entwickler fordern freie Hand für ihre Experimente, in der Logik der Fertigung hingegen stören Experimente die Stabilität der Linie.

Eine andere Lösung für das Dilemma liegt in der Kooperation mehrerer Hersteller mit dem Ziel, die teuren Fertigungseinrichtungen für die Technologieentwicklung gemeinsam zu nutzen. Darüber hinaus spielen bei den Forschungs- und Entwicklungskooperationen aber auch die Bündelung von Know-How eine Rolle - auch Prozessentwickler sind eine teure und knappe Ressource. Die Bedeutung dieser Kooperationen nimmt zum Ende der 90er Jahre zu. Zu den Vorreitern unternehmensübergreifender Kooperationen gehören die großen europäischen Halbleiterhersteller, die in den 90er

Jahren aus ihrer Not eine Tugend gemacht haben.¹⁴ Vor allem Siemens und Philips, die in den 80er Jahren erhebliche Mittel in die technologische Aufholjagd investiert hatten, konnten diese kostenintensive Strategie in den 90er Jahren nicht fortsetzen. Die Subventionierung der Halbleiterfertigung durch die Konzern-Mütter wurde eingestellt bzw. drastisch reduziert - hier schlagen sich die veränderten Governance-Strukturen ganz manifest nieder. Mit einer ähnlichen Politik des knappen Geldes war der französisch-italienische Hersteller STMicroelectronics konfrontiert, obwohl er sich Anfang der 90er Jahre noch im Staatsbesitz befand. Die Folge: Siemens und Philips legten ihre Mitte der 80er Jahre erst aufgebauten Pilotlinien für die Technologieentwicklung still (bzw. wandelten sie in reguläre Fertigungslinien um). Stattdessen nutzen die Technologieentwickler von Philips seit Beginn der 90er Jahre das Entwicklungszentrum von STMicroelectronics im französischen Crolles (bei Grenobles). Siemens führt wesentliche Teile der Technologieentwicklung gemeinsam mit IBM im Entwicklungszentrum des US-Unternehmens in East Fishkill durch.¹⁵ Schließlich hat Siemens gemeinsam mit dem US-Hersteller Motorola eine Pilotlinie am Standort der Siemens-Chipfabrik in Dresden aufgebaut. Unter den für sie - verglichen mit den 80er Jahren - eigentlich restriktiveren Rahmenbedingungen ist es den drei großen europäischen Herstellern in den 90er Jahren gelungen, von ihrer Prozessinnovationsfähigkeit her zur Weltspitze aufzuschließen.

Die Notwendigkeit, angesichts steigender Investitions- und Betriebskosten auch bei der Technologieentwicklung Skaleneffekte zu realisieren, scheint die unternehmensübergreifende Kooperation auch in diesem Feld zu einer Option zu machen, die immer stärker genutzt wird.

14 Daneben gibt es auch Kooperationen auf dem Gebiet der Prozesstechnologie, an denen ausschließlich US-Unternehmen beteiligt sind. Motorola und AMD entwickeln die Prozesstechnologie für ihre höchstintegrierten Prozessor-Chips seit kurzem gemeinsam im Motorola-Entwicklungszentrum in Austin, Texas.

15 An der gemeinsamen Technologieentwicklung war über mehrere Jahre auch Toshiba beteiligt; der japanische Chip-Produzent hat diese Kooperation jüngst beendet, dafür ist der taiwanische Hersteller UMC neu zum Entwicklungskonsortium hinzugestoßen.

5. Perfektionierung des Inkrementalismus: Neue Organisations- und Arbeitseinsatzkonzepte in der Fertigung

Neben einer auf stetige Miniaturisierung und wachsende Funktionsintegration ausgerichteten Technologieentwicklungsstrategie stellt eine auf rasche Kostendegression fokussierte Fertigungsstrategie ein wichtiges Element in den Innovationsstrategien der Unternehmen in den 90er Jahren dar. Die Reorganisation der Technologieentwicklung hatte zwar zum Ziel, die Fabriken von unnötigen Entwicklungsarbeiten und damit verbundenen Störungen für den Fertigungsfluss freizuhalten und mit einer rigiden Organisation von Prozessstransfers für ein hohes Ausgangsniveau der Volumenproduktion zu sorgen. Vom fordistischen Fließband-Ideal einer ungestörten, stabilen Massenproduktion ist die Großserienproduktion in der Halbleiterfertigung jedoch weit entfernt. Das Ziel rascher Kostendegression stellt die Fertigungsstätten vielmehr vor die Notwendigkeit weiterer Optimierungsarbeiten.

Die letzten Prozepte sind immer die schwierigsten - die Probleme der Optimierung auf hohem Niveau

Noch bis in die 80er Jahre galten in der Halbleiterfertigung Ausbeuteraten von maximal 50 % bis 60 % als State of the Art (vgl. etwa Prestovitz 1988). Ausgehend von den nach einer Prozesseinführung üblichen niedrigen Ausbeuten setzten Strategien zur Ausbeutesteigerung wesentlich bei der Behebung grober Prozess- und Anlagenfehler an. Damit ließen sich schnelle Erfolge und ein steiler Anstieg der Lernkurve und der Ausbeuteraten erzielen. Je höher die Ausbeuteraten jedoch sind, desto schwieriger wird jede weitere Optimierung, da es nun immer mehr um die Feinabstimmung zwischen den Verfahrensschritten geht. Die mangelnde Prozessbeherrschung, für die eine wesentliche Ursache die Arbeitsteilung in der Prozessentwicklung war, ließ in den Unternehmen oftmals nur eine tentative Herangehensweise zu und stellte immer auch ein gewisses Risiko dar. Ab

einem gewissen Punkt musste zwischen Risiken und Aufwand einer weiteren Optimierung einerseits und neuen Innovationsaufgaben und dem Halten des erreichten Ausbeuteniveaus andererseits abgewogen werden. Je avancierter die zu optimierende Prozesstechnologie war, desto mehr galten hohe Ausschussraten den Herstellern in den USA und Europa als der dafür zu zahlende Preis.

In den 80er und 90er Jahren gewannen für die Halbleiterindustrie jedoch Skalenökonomien und eine schnelle Kostendegression bei der Durchdringung der neuen Massenmärkte an strategischer Bedeutung, und die Unternehmen entwickelten neue Strategien im Wettlauf um Produktivitätssteigerung und Kostensenkung. Mit der Reorganisation der Prozessentwicklung zielten sie darauf, die anfänglich hohen Ausschussraten und die von Anpassungsentwicklungsarbeiten ausgehenden Störungen in der Fertigung zu vermeiden. Die Fertigung soll vielmehr den ersten Teil der Lernkurve überspringen und mit Optimierung und Ausbeutesteigerung auf den Lernerfolgen der Prozessentwicklung aufsetzen. Damit verbleibt der Fertigung jedoch das mit jedem Lernerfolg kleinschrittigere und komplexere 'Finetuning' mit dem Ziel, die technischen Grenzen einer weiteren Ausbeutesteigerung immer weiter zu treiben. Die Bedeutung dieses Ringens auch noch um die letzten Prozepte wird zudem durch die immens gestiegenen Investitionskosten unterstrichen, die Neu- und Erweiterungsinvestitionen zu einem immer größeren Kraftakt werden lassen und der Verbesserung der Fertigungseffizienz damit eine zentrale Rolle in der Kapazitätssteigerung zuweisen.

Optimierungsstrategien in der Fertigung stehen in den 90er Jahren noch in anderer Hinsicht unter neuen Vorzeichen: Mit ihrer Ausrichtung auf eine Strategie der Höchstintegration haben die Unternehmen eine Investitionskosten Spirale in Gang gesetzt. Während der Bau einer kompletten Halbleiterfabrik in den frühen 70er Jahren zwischen fünf und zehn Millionen Dollar kostete, liegen die Kosten für eine Fabrik auf dem neuesten Stand der Fertigungstechnologie inzwischen bei über anderthalb Milliarden Dollar, wobei die Anlagen rund

80 % dieser Summe ausmachen.¹⁶ Die hohen Investitionskosten stellen die Fertigung vor Zusatzanforderungen. Die Fabriken müssen auch deshalb in der Lage sein, neue Technologien schnell zu adaptieren, Produktionsvolumina rasch zu steigern und Produktionskosten zu senken, um die zu Beginn des Produktlebenszyklus zu erzielenden hohen Gewinnspannen für einen schnellen 'return on invest' nutzen zu können.¹⁷ Dies hat nicht nur steile Lernkurven und eine schnelle Beherrschung der neuen Prozesstechnologie zur Voraussetzung. Darüber hinaus gewinnen Strategien der Kapazitätssteigerung und Fertigungsoptimierung an Bedeutung. Die Unternehmen setzen in den 90er Jahren darauf, mit neuen Organisations- und Arbeitseinsatzkonzepten die in der Vergangenheit vernachlässigten Optimierungsspielräume zu erschließen. Für diese Strategien spielen vor allem die folgenden Ansatzpunkte eine Rolle.

Prozessoptimierung/Steigerung der Ausbeuteraten: Ansatzpunkte der Prozessoptimierung reichen von Veränderungen (Reduzierung, Erweiterung) etwa der Test- oder Reinigungsprozesse zwischen den einzelnen chemisch-physikalischen Verfahren über die kostengünstigere Gestaltung der Verfahrensschritte (z.B. Reduzierung des Materialeinsatzes, Einsatz kostengünstigerer Materialien) bis hin zur gezielten Veränderung von Prozessparametern zur Verbesserung der Produktqualität. Je mehr es um die Veränderung von Prozessparametern geht, desto mehr setzt dies entwicklungsähnliche Arbeiten voraus, die sich wiederum störend auf den Fertigungsprozess auswirken können und damit dem Stabilitätsideal ungestörter Massenproduktion zuwiderlaufen. Für die Prozessoptimierung ist einerseits die Erfahrung und das alltagspraktische Wissen der Fertigungsarbei-

terInnen von Bedeutung, andererseits das Wissen um die technologischen Zusammenhänge ('Prozesswissen').

Verbesserung der Anlagennutzung: Angesichts der exorbitant hohen Investitionskosten stellt die Steigerung der Anlagennutzungszeiten einen besonders wichtigen Hebel der Kapazitätssteigerung dar. Eine Verlängerung der Betriebszeiten ist bereits ausgereizt: seit den 80er Jahren ist in dieser Industrie der kontinuierliche Schichtbetrieb durchgesetzt. Daher kann es nur um eine Erhöhung der Anlagennutzung gehen. Experten gehen davon aus, dass gerade komplexe Anlagen rund 50 % der Zeit nicht produktiv genutzt werden (vgl. McIntosh 1997). Ansatzpunkte liegen bei der Wartung, Reparatur und Einrichtung der Anlagen, der unproduktiven Nutzung beispielsweise durch eine Vielzahl von Testläufen oder durch Unterauslastung sowie in den durch Prozess- und Bedienungsfehler verursachten Stillstandszeiten ('downtime'). Dies setzt allerdings eine größere Produktionsnähe des bislang produktionsfern angesiedelten Anlagen- und Prozesswissens und entsprechender Problemlösungskompetenzen voraus.

Verbesserung der Fertigungssteuerung: Durch Störungen im Fertigungsprozess – beispielsweise durch Anlagenausfälle – kann es im Fertigungsfluss zu Stauungen kommen, die in einer Kettenreaktion bestimmte Anlagen zu Flaschenhälsen werden lassen. Für die angestauten Fertigungslose gibt es unter dem Titel 'Work in Progress' umfangreiche Zwischenlager in der Fertigung. Je besser eine Fabrik ihre Anlagen auslastet, desto drastischer drohen sich punktuelle Störungen im Produktionsfluss fortzupflanzen. Der Feinsteuerung an den Anlagen vor Ort - welches Los wird wann prozessiert? – kommt daher eine große Bedeutung für den Fertigungsoutput zu. Aber auch hier fehlen der Fertigung entsprechende Kompetenzen.

Minimierung von Ausschuss: Die Ausbeuteraten der Fabriken hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab. Im engeren Sinne bezeichnet die Ausbeute ('yield') in der Halbleiterfertigung jedoch das Verhältnis der gefertigten, funktionierenden Chips zur Zahl der in der Pro-

16 Die durchschnittlichen Anlagenkosten haben sich seit Mitte der 80er Jahre von rund 200.000 Dollar auf rund eine Million Dollar etwa verfünffacht. Die Kosten für eine Belichtungsanlage stiegen im selben Zeitraum sogar von rund 400.000 Dollar auf rund drei Millionen Dollar.

17 Dieser Zeitdruck gilt umso mehr, als dass der schnelle technische Fortschritt die gerade erst getätigten Investitionen auch überproportional schnell wieder entwertet. Angesichts der durchschnittlichen Investitionskosten für eine 'state of the art'-Fabrik von über einer Milliarde US-Dollar errechnete der für die Halbleiterfertigung zuständige Philips-Vorstand Stuart McIntosh bereits 1997 einen wöchentlichen Wertverfall von rund vier Millionen Dollar (vgl. McIntosh 1997).

duktion gestarteten. Ausbeuteverluste kommen im wesentlichen durch Bedienungsfehler und Anlagenfehlfunktionen zustande. Für die Fabriken ist es wichtig, solche Fehler schnell zu erkennen und schnell darauf zu reagieren. Zum einen können sich Fehler in einem Prozessschritt auf nachfolgende Schritte auswirken, zum anderen aber ist es vor allem in vielen Fällen sehr aufwendig, Fehler, die erst am Ende des Fertigungsprozesses entdeckt werden, auf ihre Ursache zurückzuverfolgen. Je eher aber ein Fehler entdeckt wird, desto rascher kann er behoben werden und desto geringer fällt der produzierte Ausschuss aus. Voraussetzung einer schnellen Fehlerdiagnose und Reaktion sind jedoch eine detaillierte Prozesskontrolle sowie entsprechende umfassende Prozess- und Anlagenkompetenzen 'nah am Prozess'.

Die hergebrachte Betriebs- und Arbeitsorganisation sperrte sich allerdings einer systematischen Abarbeitung dieser Punkte. In der traditionellen Arbeitsteilung waren Problemlösungs-, Innovations-, Optimierungs- und Dispositions Kompetenzen im wesentlichen dem Engineering zugeordnet, während die Fertigungsbereiche auf die Ausführung vorgegebener Prozessschritte festgelegt waren. Ihnen fehlten Kompetenzen, Ressourcen und Know-how zur Bewältigung auch nur alltäglicher Fertigungsprobleme. 'Feuerwehreinsätze' des Engineering bei Qualitäts- und Ausbeuteeinbrüchen in der Fertigung drohten zu einer permanenten Praxis zu werden und auf Kosten der dort zu verfolgenden Innovationsaufgaben zu gehen. Das zur Ausbeutesteigerung und zur Rationalisierung und Effektivierung der Fertigung wertvolle, auf dem Shopfloor akkumulierte Wissen um die Entstehung von Prozessproblemen, die Schwachstellen einzelner Anlagen oder die Hintergründe bestimmter Produktionsengpässe blieb hingegen weitgehend unerschlossen.

Um sich nun neue Spielräume zur Produktivitätssteigerung zu erschließen setzen die Unternehmen in den 90er Jahren auf eine zum Teil weitreichende Neuordnung der fabrikinternen Arbeitsteilung mit neuen Aufgabenschnitten sowohl auf Ebene der Ingenieure wie auch un-

terhalb des Ingenieurslevels, die zumeist mit einer Reorganisation der Engineering-Bereiche und einer Erweiterung von Qualifikationen und Kompetenzen in der Fertigung einhergeht. Unterschiede zwischen den Standorten scheinen dabei weniger von den nationalen Rahmenbedingungen als vielmehr von unterschiedlichen Unternehmensstrategien abhängig, die vergleichbare Muster der Betriebs- und Arbeitsorganisation an den unterschiedlichen internationalen Standorten der Unternehmen entstehen lassen.

5.1 Die Neuausrichtung des Engineering

Bereits traditionell liegen das notwendige Wissen und die Kompetenzen zur Prozess- und Fertigungsoptimierung bei den Ingenieuren der beiden Ingenieurbereiche der Fertigungsstätten. Die überwiegende Zahl der Ingenieure findet sich dabei im sogenannten 'Process Engineering', dessen Aufgaben von der Prozessadaption über die inkrementelle Optimierung der Prozesse bis zur Bearbeitung von Prozessproblemen im Fertigungsfluss reichen.¹⁸ Die neuen Strategien zur fertigungsgerechten Technologieentwicklung entlasten das Process Engineering in der Massenproduktion, die dadurch freigesetzten Ressourcen ermöglichen eine stärkere Fokussierung der hier eingesetzten Ingenieure auf fertigungsbezogene Optimierungsaufgaben. Der oben beschriebene Konflikt zwischen den Stabilitätsanforderungen der Massenproduktion und dem Ziel einer möglichst weitgehenden Prozessoptimierung schlägt sich dabei allerdings auf Ebene der Ingenieure in doppelter Weise nieder. Er besteht für die Ingenieure nicht nur in der praktischen Verfolgung der Optimierungsaufgaben, auf die sie nun festgelegt werden, er bedeutet vor allem auch eine weitreichende Veränderung der Rahmenbedingungen ihres Handelns.

¹⁸ Das Equipment Engineering oder die Anlagentechnik als zweiter Engineering-Bereich ist zuständig für Inbetriebnahme, Wartung und Instandhaltung der Anlagen. Es besteht neben einer geringeren Anzahl Ingenieuren hauptsächlich aus Anlagentechnikern ('technicians').

Für eine über die anfänglich hohen Lernerfolge hinausreichende, auf bessere Feinabstimmung zielende Fertigungsoptimierung sind Stabilität und Kontrolle der Fertigungsprozesse sowie der Rahmenbedingungen, unter denen gefertigt wird, von zentraler Bedeutung. Je weniger und koordinierter Veränderungen stattfinden, je stabiler der Prozess und je gleichmäßiger der Fertigungsfluss ist, desto besser lassen sich die Prozessparameter kontrollieren und Zusammenhänge zwischen einzelnen Prozessschritten erschließen. Andernfalls sind weder die Auswirkungen neu eingeführter Prozesse und Prozessschritte auf laufende Fertigungsprozesse klar zu identifizieren, noch lassen sich Fehler schnell und unproblematisch auf ihre Ursache zurückverfolgen oder einzelne Prozessschritte ohne großen Aufwand optimieren. – "Wenn die Fertigung sehr stabil ist, dann sehe ich, wo kann ich noch anziehen. Wenn aber – einmal angenommen – von einem Shrink¹⁹ 60 Prozessschritte betroffen sind, und die anderen 340 sind nicht stabil, dann ist das kaum möglich." (Deputy Director Technology, Unternehmen L)

Durch die Neuordnung der Technologieentwicklung seit den 80er Jahren wird ein erheblicher Teil von Variabilität von der Fertigung ferngehalten, in bezug auf die Ingenieure in den Fertigungsstätten geht es aber auch um eine Veränderung des tradierten und kultivierten Entwicklerbewusstseins und einen Bruch mit der hier oftmals vorherrschenden Experimentierfreudigkeit. Fast durchgehend finden sich in den Fabriken Ansätze, durch neue Regeln und Aufgabenzuschritte mit dem unter den Ingenieuren vorherrschenden Entwickler-Selbstverständnis zu brechen und das Engineering stärker auf die Stabilisierung und Kontrolle der Fertigungstechnologie zu verpflichten. Durchgesetzt werden soll ein fertigungsorientiertes 'Durchsatz-Denken'. Unterbunden werden sollen vor allem unkontrollierte und unabgestimmte Prozessveränderungen, die in Fortsetzung der

vollbrachten Entwicklungsleistungen mit dem Ziel auch nur kleiner Optimierungserfolge ("Das geht noch besser!") vorgenommen werden, in ihrer Summe jedoch schnell den Prozess außer Kontrolle geraten lassen können. "Ein Ingenieur spielt halt gerne. Nur: in der Entwicklung darf er das, in der Fertigung nicht." (Process Development Mgr., Unternehmen N) Nicht selten ist – so wurde es in erstaunlicher Einmütigkeit an US-amerikanischen wie europäischen Fertigungsstandorten thematisiert – die Rede von einer 'Einschränkung der Ingenieurskreativität' und einer 'Disziplinierung der Ingenieure', die nun auf die Dokumentation auch kleinster Veränderungen am Fertigungsprozess festgelegt werden.

Die Einschränkung unkontrollierter Ingenieurskreativität und die Durchsetzung von Dokumentationsdisziplin sind dabei Bestandteil einer immer umfassenderen Kontrolle der Fertigungsprozesse. Die in den 90er Jahren über die forcierte Einführung und Ausweitung umfassender Methoden statistischer Prozesskontrolle (SPC) in den einzelnen Abschnitten des Prozesses deutlich verstärkte Datenerhebung 'in line' lässt ein immer besseres Verständnis der Zusammenhänge in den Fertigungsprozessen wachsen. Die neue Datengrundlage untersetzt das vormals oft eher tentative Herangehen an Prozessprobleme mit neuen Einsichten und ermöglicht den Ingenieuren eine Systematisierung ihrer Optimierungsaktivitäten. Sie werden in ihrer Arbeit zwar einerseits neuen Regeln unterworfen, mithin also auch eingeeengt, andererseits aber erweitern sich mit der Durchdringung der Fertigungsprozesse auch ihre Möglichkeiten in der Prozessoptimierung. Die Fertigungsprozesse werden auf der größeren Datengrundlage transparenter, damit freilich auch das Arbeitshandeln der Ingenieure – sie werden in wesentlich mehr Fragen begründungspflichtig. Im Vordergrund ihrer Arbeit steht nun die Erhöhung von Durchsatz und Fertigungseffizienz, nicht mehr die Lösung technologischer Probleme.

Die Durchsetzung dieser neuen Fertigungsorientierung verläuft in den meisten Unternehmen jedoch nicht friktionslos. "Wenn Sie es positiv sehen, ist es eine Auf-

19 'Shrink' bezeichnet eine Verkleinerung der Schaltungsstrukturen, die i.d.R. durch den vorgezogenen Transfer von Prozessschritten der nächsten Prozessgeneration erzielt wird. Die mit einem Shrink verbundenen Skaleneffekte lassen die Unternehmen solche Prozessinnovationen häufig dem Generationswechsel zeitlich vorziehen mit dem positiven Nebeneffekt, den Prozesstransfer eher schrittweise und nicht als großen Bruch mit eingefahrenen Technologien vollziehen zu können.

wertung der Fertigung. Wenn Sie es von der Entwicklungsseite sehen, ist es eine Reduzierung auf die Produktionsverhältnisse." (Senior Mgr., Unternehmen M)

Das der Fertigung anhaftende Image von Monotonie und Anspruchslosigkeit widerspricht dem Selbstbild der Ingenieure, Beharrungskräfte und die Angst vor Statusverlust drohen zu wesentlichen Blockaden in der Umsetzung fertigungsnaher Engineering-Konzepte zu werden.

Integrationskonzepte in der Reorganisation des Engineering

Nur wenige Unternehmen belassen es in diesem Zusammenhang bei einer bloßen Neuausrichtung des Engineering. In den meisten Fällen wird diese durch eine Reorganisation der Fabriken unterfüttert, mit der sich auch die Einbettung der Engineering-Bereiche ändert. Je nach Reichweite verfolgen die Unternehmen dabei unterschiedliche Ziele. Ein Großteil der Unternehmen fasst die beiden traditionell getrennten Engineering-Bereiche mit ihren separaten Zuständigkeiten für Anlagen und Prozesse zusammen, um den mit der hergebrachten Struktur verbundenen Reibungsverlusten entgegenzuwirken und das Ingenieurshandeln besser zu koordinieren. Anlagen- und Prozessprobleme hängen nicht nur eng zusammen, sodass die Aufteilung in zwei Verantwortungsbereiche in den Fabriken leicht zum Abschieben von Verantwortung verleitet, mit der Komplexität von Anlagen und Prozessen und der immer höheren Bedeutung einer Feinabstimmung der Prozesse wuchs auch der Abstimmungsbedarf zwischen beiden Bereichen. Trotz der Zusammenfassung bleibt die Arbeitsteilung zwischen Anlagen- und Prozessingenieuren in der Regel jedoch bestehen. Das komplette Set der Anforderungen erscheint als zu breit, als dass sich mit der organisatorischen Integration auch die alten Spezialisierungsmuster auflösen würden.

Ein Teil der Unternehmen geht jedoch noch weiter. Hier kommt es zu einer vollständigen Abkehr von der traditionellen Funktionalorganisation und der ihr unterlegten

Arbeitsteilung. Die alte vertikale Organisationsstruktur wird in diesen Fällen mit dem Ziel einer besseren Verzahnung von Engineering und Fertigung in eine neue, entlang von Fertigungsabschnitten definierte horizontale "Modulstruktur" überführt. Damit werden jedem der nach Anlagengruppen organisierten Fertigungsabschnitte die notwendigen Engineeringressourcen direkt zugeordnet und so der Fertigung ein besserer Zugriff auf die benötigten Problemlösungskompetenzen gesichert. Für die Arbeitsstrukturen und Kooperationsmuster bedeutet diese Reorganisation einen Epochenwechsel:

"Previously there would have been a manufacturing manager, an engineering manager, a maintenance manager and maybe another one or two. (...) Now we've changed to what we call the module manager structure, in which we divide the fab by modules. Each module manager has the responsibility for one area, but he has all of the engineering, production and maintenance for that area. (...) And now it's more like 'Okay, we've got a natural work group. And we've got a piece of equipment with a problem. Let's solve it.' And it's not uncommon to see the production operator working with the maintenance technician and the engineer in an almost overlapping type role in fixing the equipment. So it's much more efficient." (Module Mgr., Unternehmen A)

5.2 Reduzierung von 'Downtime' und 'Work in Progress' - Die Rolle der Fertigung

Mit der fertigungsorientierten Reorganisation des Fabrik-Engineering haben Unternehmen und Fabriken einen wichtigen Schritt zur Stärkung der Prozessoptimierung in den Fabriken getan. Im Hinblick auf eine Verstärkung des Fertigungsflusses, eine Verbesserung des Durchsatzes oder eine Reduzierung von Anlagenstillstandszeiten ('downtime') hängen weitere Fortschritte jedoch von einer besseren Kombination von bislang fertigungsfern organisierten Anlagen- und Prozesswissen und Kompetenzen mit den alltagspraktischen Erfahrungen der Fertigung ab. Mancher Manager entdeckt: "Probably our greatest untapped resources are the operators" (Operations Mgr., Unternehmen H).

Der Zugriff auf dieses Wissen bleibt jedoch in der traditionellen Funktionalorganisation mit ihrer ausgeprägt

hierarchischen Verteilung von Innovationsaufgaben, Problemlösungskompetenzen und Qualifikationen, an deren unterem Ende die Fertigung steht, weitgehend versperrt. Um sich diese Ressourcen zu erschließen, setzen die Unternehmen auf eine – in ihrer Reichweite unterschiedliche – Veränderung der fabrikinternen Arbeitsteilung und den Neuzuschnitt der Aufgabenprofile am Shopfloor. Im Vordergrund stehen dabei zunächst Routineaufgaben der Wartung und Instandhaltung der Anlagen, die vormals bei den im Equipment Engineering angesiedelten Anlagentechnikern lagen. Sie werden nun – häufig unter der Fahne eines ‘Total Productive Maintenance’-Programms – ArbeiterInnen am Shopfloor übertragen. Die Erweiterung der Aufgabenprofile geht in einer besseren Koordinierung zwischen Fertigung und Instandhaltung allerdings nicht auf. Vielmehr zielen die Unternehmen darüber hinaus auch auf den Aufbau eines besseren Anlagen- und Prozessverständnisses in der Fertigung, das zumindest auf einfachem Niveau eine schnellere Fehlerdiagnose, ein direkteres Reagieren sowie eine – wenn auch begrenzte – Verlagerung von Entscheidungs- und Dispositionskompetenzen erlaubt.

Die konkrete Ausgestaltung der Arbeitsorganisation am Shopfloor und die Reichweite der betriebs- und arbeitsorganisatorischen Veränderungen sind von Unternehmen zu Unternehmen unterschiedlich. Ein Teil der Unternehmen belässt es bei einer Übertragung von Routineaufgaben an einzelne, auf diese Aufgaben spezialisierte FertigungsarbeiterInnen. Die Effekte machen sich vor allem im Equipment Engineering bemerkbar. Die Anlagentechniker werden dort von Routineaufgaben entlastet und können sich stärker den mit der Anlagenkomplexität wachsenden technischen Aufgaben widmen. Freilich bleibt bei diesem Modell die funktionale Betriebs- und Arbeitsorganisation mit ihren Kompetenzzuweisungen im wesentlichen unangetastet.

Mehrere Fabriken – oftmals gerade jene, die bereits in der Reorganisation des Engineering auf Integration setzen – gehen in diesem Punkt weiter: Im Rahmen des von einigen US-amerikanischen und europäischen Un-

ternehmen verfolgten Modulkonzepts kommt es nicht nur zu einer Integration der beiden Engineering-Bereiche in die Fertigungsmodule, auch wird die Anlagentechnik hier komplett in die Fertigung integriert. Resultat ist die Verschmelzung direkter und indirekter Aufgaben *in der Fertigung*, wobei die traditionellen Job-Kategorien (Operator, Technician) durch einen neuen, qualifizierten Fertigungs‘techniker’ abgelöst werden:

“We have collapsed all of this into one job title called ‘Wafer Fab Technician’ with a much broader pay scale. (...) Our vision for them is to actually be spending 10 % to 20 % of their time in doing tasks related to process improvement and problem solving and team work outside of the fab. Our vision for them is spending up to 20 % of their time doing that.” (Module Mgr., Unternehmen A)

5.3 Der ‘Ingenieur light’ - Aufbau einer neuen mittleren Ebene zwischen Ingenieuren und Shopfloor

In einigen Fällen experimentieren Unternehmen mit noch radikaleren Formen der Aufgabenverlagerung und -integration. Sie haben inzwischen gelernt, dass entsprechend qualifizierte Arbeiter durchaus *auch* prozessbezogene Aufgaben übernehmen können. Durch das immer bessere Prozessverständnis in den Fabriken werden auch prozessbezogene Kontroll- und Problemlösungsaufgaben in die Fertigung verlagerbar. Mit entsprechenden Reorganisationskonzepten nehmen die Unternehmen ein wesentliches Defizit der hergebrachten Fabrikorganisation – das Fehlen nahezu jeglicher prozessbezogener Problemlösungskompetenz in der Fertigung – ins Visier.

Mit dem Aufbau einer neuen, mittleren Ebene technischer Qualifikationen zwischen Ingenieur und Operator – als “Ingenieur light” (so ein deutscher Ausbildungsexperte über seine mit dem neuen Berufsbild des Mikrotechnologen verknüpften Erwartungen) oder in der Formulierung eines US-Firmenkonsortiums als “hybrid of skilled blue collar and engineering-oriented white collar” – setzen verschiedene europäische und US-ame-

rikanische Unternehmen darauf, bislang lediglich bei den Ingenieuren verankertes Wissen und Kompetenzen in der Fertigung anzusiedeln. Zum einen geht es dabei darum, ingenieurtechnisches Know-how so nah wie möglich am Fertigungsprozess verfügbar zu haben. Die neuen Hybride sind im Gegensatz auch zu den im Rahmen der Modulorganisation der Fertigung zugeordneten Engineering-Ressourcen *in den Fertigungsschichten* verankert und damit rund um die Uhr vor Ort präsent. Durch eine erste Auswertung der im Rahmen der Statistischen Prozesskontrolle erhobenen Daten sind so schneller erste Schlussfolgerungen und Konsequenzen möglich. Zum anderen bildet dieser neue Typus Fertigungsarbeiter aber auch eine Brücke zwischen dem alltagspraktischen Wissen der Fertigung und dem eher theoretischen Zugriff der Ingenieure. Er weiß durch den direkten und alltäglichen Kontakt zum anlagenbedienenden Fertigungspersonal, durch eigene Anschauung und eigene Arbeiten an den Anlagen mehr über den Fertigungsalltag als die Ingenieure, hat aber auch ein umfassenderes Wissen als die FertigungsarbeiterInnen. Umgekehrt kann er als in der Fertigung angesiedelter 'Zulieferer' des Engineering die von ihm durchzuführenden ingenieurtechnischen Arbeiten (etwa Datenerhebung und -auswertung, Experimente, Inbetriebnahme von Anlagen, begrenzte Prozessoptimierungsmaßnahmen) aber auch besser an die Bedingungen des Fertigungsbetriebes anpassen. Die Bedeutung dieser neuen mittleren Ebene liegt dabei nicht allein in der Erweiterung des in der Fertigung verfügbaren Wissens, sondern vor allem in dem spezifischen Wissensmix, der so bislang in der Fabrik nicht existiert und helfen soll, weitere Optimierungspotentiale zu erschließen:

"Eine gute Produktionsausbeute ist vom guten Zusammenspiel der Funktionsbereiche abhängig. Aber je näher ich an 100 % Ausbeute rankomme, desto schwieriger wird es, die letzten paar Prozent rauszuquetschen. Da brauche ich jemand, der quer denkt. Der Operator kennt seine Maschine und deren Macken. Er kennt vielleicht auch noch die Maschine vorher und nachher. Der Prozessingenieur kennt den Gesamtprozess. Der Mechaniker aus der Instandhaltung kennt die Macken der Ma-

schinen. Aber im Zusammenspiel fehlt jemand, der alles beherrscht und der Hinweise auf Verbesserungspotentiale liefern kann, der mit den alten Noten ein neues Lied spielt." (Ausbildungsleiter, Unternehmen L)

5.4 Neue Wege in der Qualifikationsversorgung

Mit den neuen Arbeitsorganisationskonzepten steigt in den Unternehmen der quantitative wie qualitative Qualifikationsbedarf unterhalb des Ingenieurslevels. Insbesondere dort, wo Unternehmen wie in den USA bislang wesentlich auf die Anlernung unqualifizierter FertigungsarbeiterInnen bzw. wenig einschlägig qualifizierter Anlagentechniker ArbeiterInnen setzten, wird die unzureichende Qualifikationsversorgung zunehmend zu einer Bedrohung der eigenen Expansionsfähigkeit (vgl. Buss/Wittke 1999a). Aber auch unter den Rahmenbedingungen ausgeprägter nationaler Berufsausbildungssysteme gilt, dass die Unternehmen in keinem Fall auf eine einschlägige Berufsausbildung zurückgreifen konnten und in ihrer Qualifikationsversorgung auf die Ausbildung und Rekrutierung in zumindest entfernt verwandten Berufen ausweichen mussten. Kurz: Beide Strategien wurden den mit Aufgabenintegration, Anlagen- und Prozesskomplexität sowie Automationsgrad steigenden Qualifikationsanforderungen nicht mehr gerecht.

In der Folge sehen sich die Unternehmen in Europa wie in den USA in den 90er Jahren zunehmend vor die Aufgabe gestellt, auch die eigene Qualifikationsversorgung zu reorganisieren. Je weitergehend der Bruch mit der herkömmlichen Arbeitsorganisation ist, desto mehr kommt es hierbei auf die Vermittlung eines Gerüsts theoretischen Wissens in den Qualifikationsstufen unterhalb des Ingenieurslevels an. Bereits im Falle der klassischen Anlagentechniker (und damit auch für entsprechende Aufgabenverlagerungen) gilt, dass sich die Anforderungen allein durch die prozesstechnologische Entwicklungsdynamik fast explosionsartig erweitern: "You need chemics, physics, mechanical knowledge, robotics, process knowledge. In process the major part

is vacuum. You have to deal with robotic handlers. You have to learn special techniques for ion implantation. It is a real interdisciplinary blend of different skills." (US-Ausbildungsexperte) Noch deutlicher tritt der Qualifikationsbedarf im Fall der neuen mittleren Ebene technischer Qualifikationen, wie sie einige Fabriken aufbauen, zu Tage. Dieser neue Typus Fertigungsarbeiter liegt von seinen Aufgaben wie seinen Qualifikationsanforderungen her quer zu den herkömmlichen Funktionsbereichen mit der ihnen unterlegten Arbeitsteilung und Qualifikationsstruktur und erfordert in Teilen auch eine ingenieurtechnische Ausbildung: "Der kratzt nach oben. Der übernimmt Aufgaben, in denen momentan Ingenieure arbeiten. Der Mikrotechnologe wird zuungunsten der Ingenieure Bestand haben. Die Ingenieurausbildung wird sich neu positionieren müssen." (deutscher Ausbildungsexperte)

Je umfangreicher das benötigte theoretische Wissen ist, desto schwieriger und aufwendiger ist es betrieblich zu vermitteln. Die Rahmenbedingungen, eine solche Ausbildung überbetrieblich zu organisieren, sind jedoch national sehr unterschiedlich. Zum einen fehlt unternehmensübergreifenden Lösungen in Kontinentaleuropa vielerorts die notwendige Masse, und den Unternehmen verbleiben in diesen Fällen über eine Veränderung ihrer Rekrutierungsstrategien hinaus wenig Möglichkeiten. Zum anderen bieten aber auch die nationalen Ausbildungssysteme unterschiedlich ausgeprägte Anknüpfungspunkte. So entstanden in der zweiten Hälfte der 90er Jahre in Großbritannien neue halbleiterspezifische Wege schulischer und betrieblicher Berufsausbildung, und in Deutschland wurde mit dem Mikrotechnologe ein eigener Ausbildungsberuf für die Halbleiterindustrie entwickelt. Demgegenüber bedurfte der Aufbau einer neuen halbleiterspezifischen College-Ausbildung in den USA vor dem Hintergrund wenig innovativer Traditionen in Fragen der Arbeitsorganisation und der Berufsausbildung weitaus größerer Kraftanstrengungen der Industrie (vgl. Buss/Wittke 1999a, 1999b).

6. Innovationsstrategien nach der Jahrhundertwende - ein Ausblick

Die industrielle Mikroelektronik scheint ihre neue Rolle im digitalen Kapitalismus, die sie in den 90er Jahren eingenommen hat, auch nach der Jahrhundertwende fortsetzen zu können. Anwendungen im Bereich des privaten Konsums werden auch in absehbarer Zukunft den wichtigsten Massenmarkt für Hochleistungselektronik darstellen und somit die Rolle des Innovationstreibers spielen. Allerdings sind sich alle Auguren darüber einig, dass der PC seinen Status als Leitprodukt für die neuen Massenmärkte im neuen Jahrzehnt verlieren wird. Unwiederbringlich scheint die Post-PC-Ära eingeläutet, in der diese Rolle anderen Elektronikprodukten zukommen wird. Noch ist der PC beispielsweise das mit Abstand wichtigste Zugangsgerät zum Internet. Wir wissen nicht, welche Geräte den PC in dieser Funktion ablösen werden. Aber es gehört wenig prognostisches Talent zu der Behauptung, dass eine Reihe von Spezialgeräten ("Internet Appliances") dem PC in absehbarer Zeit den Rang ablaufen werden. Insgesamt ist absehbar, dass die zukünftigen Leitprodukte der Halbleiterindustrie vielgestaltiger sein werden als es in der PC-Ära der Fall war. Diese Ausdifferenzierung des Universums elektronischer Massenprodukte wird vermutlich mit einer insgesamt steigenden Durchdringung gesellschaftlicher Lebenswelten mit High-Tech-Elektronik einhergehen. Von daher dürfte die Differenzierung dem Markt-Volumen für höchstintegrierte Chips keinen Abbruch tun. Allein für digitale Mobilfunk-Handys beispielsweise wird ein Absatzsprung von 284 Mill. Geräten (1999) auf über 410 Mill. Geräte (2000) erwartet.

Innovationsstrategien in der Mikroelektronik werden also weiterhin auf Mikro-Chips - höchstintegrierte design-intensive Bauelemente - für Massenmärkte ausgerichtet sein. Die Frage ist allerdings, ob diese Märkte auch weiterhin von denselben Halbleiterhersteller mit denselben Strategien bedient werden, wie wir es für die 90er Jahre beschrieben haben. Gegen diese Erwartung sprechen Anzeichen, nach denen sich der Trend zur Fragmentierung von Wertschöpfungs- und Innovations-

ketten in der Mikroelektronik weiter fortsetzt. Halbleiterhersteller werden in Zukunft vor ähnlichen Problemen stehen, wie sie vor zehn Jahren die Systemhersteller mit Blick auf ihre Inhouse-Chip-Fertigung umtrieben. Es ist mittlerweile fraglich geworden, wieweit das Modell des integrierten Halbleiterunternehmens - im Branchen-Jargon "integrated device manufacturer" (IDM) genannt - auch zukünftig den optimalen Koordinationsmechanismus für Wertschöpfungs- und Innovationsketten darstellen wird, wie er in den 90er Jahren im "best case" vom Intel-Modell repräsentiert wurde (Intel stand für die Vorteile der vertikalen Integration von Produktentwicklung, Prozessentwicklung und Massenfertigung).

Anzeichen für eine erneute Fragmentierung der Wertschöpfungs- und Innovationsketten in der Mikroelektronik gibt es in zweierlei Hinsicht. Zum einen gibt es einen Trend zum Outsourcing von Teilen der *Fertigung*, wobei die Outsourcing-Option für die Halbleiterhersteller zunehmend deshalb attraktiv wird, weil die Subkontraktoren auf der Grundlage einer anwenderübergreifenden Bündelung 'economies of scale' und 'economies of scope' realisieren können, die ihnen selbst verschlossen bleiben. Zum andern gibt es in zunehmendem Maße den Zukauf von Leistungen im Bereich der *Produktentwicklung*, wobei die entsprechenden Zulieferer in ihren Teilbereichen über Know-How verfügen, welches den integrierten Halbleiterherstellern fehlt. In beiden Fällen sind die Dienstleister, mit denen die integrierten Halbleiterhersteller Leistungen austauschen, nicht mehr etablierte Unternehmen der Mikroelektronik, mit denen die Halbleiterhersteller bereits in den 90er Jahren bei Produkt- oder Prozessinnovationen kooperiert hatten. Statt dessen handelt es sich um - zumindest relative - Neulinge, zum Teil sogar um Start Ups.

Fertigung als Dienstleistung - die Rolle von "silicon foundries"

Besonders weit fortgeschritten ist die erneute Fragmentierung auf dem Gebiet der Fertigung, wo sich bereits in

den 90er Jahren Anbieter für Fertigungsleistungen - sogenannte "silicon foundries" - etabliert haben. Foundries sind ursprünglich Unternehmen, die ausschließlich auf die Auftragsfertigung ausgerichtet sind und keine eigenen Produkte fertigen und vermarkten. Halbleiterhersteller dieses Typs sind in den 80er Jahren vor allem in Taiwan entstanden. Als Neueinsteiger in die Halbleiterindustrie zielten sie zunächst auf technologisch weniger avancierte Fertigungsaufträge, vornehmlich von Chip-Design-Unternehmen ohne eigene Fertigung (vor allem aus den USA), aber auch von integrierten Halbleiterherstellern. In den Outsourcing-Strategien der integrierten Halbleiterhersteller spielten die Foundries hauptsächlich als Kapazitätspuffer eine Rolle. Darüber hinaus lagerten sie vor allem technologisch weniger anspruchsvolle Chips und Produkte mit geringen Stückzahlen aus, für die sie keine Fertigungskapazitäten vorhalten wollten. Die avanciertesten, design-intensiven Produkte fertigten die integrierten Unternehmen ganz überwiegend selbst. Im Durchschnitt haben die integrierten Hersteller in den 90er Jahren rund 10 % ihres Produktionsvolumens an Foundries ausgelagert.

In der zweiten Hälfte der 90er Jahre hat sich allerdings die Rolle der Foundries nachhaltig verändert. Mit einem umfangreichen Investitionsprogramm haben die führenden Foundry-Unternehmen alles daran gesetzt, technologisch zur Weltspitze aufzuschließen. Mittlerweile sind sie in der Lage, die Fertigung von Chips auch in den jeweils avanciertesten Prozesstechnologien anzubieten. Das Angebot an Foundry-Dienstleistungen, die state of the art sind, hat sich in den letzten Jahren dadurch zusätzlich ausgeweitet, dass auch einige integrierte Halbleiterhersteller dazu übergegangen sind, freie Fertigungskapazitäten für Dritte anzubieten (Vorreiter ist hier IBM). Damit sind Foundries für das gesamte Technologiespektrum zu einer Alternative zur Inhouse-Fertigung geworden. Die integrierten Halbleiterhersteller beziehen diese neue Option in recht unterschiedlicher Weise in ihr Kalkül ein. Einige Hersteller planen auf mittlere Sicht, vergleichsweise große Teile des Fertigungsvolumens auszulagern; namhafte Unternehmen

beabsichtigen ein Drittel des Fertigungsvolumens an Foundries zu vergeben. Ihr Kalkül richtet sich dabei auf einen Zugewinn an Flexibilität und die Einsparung von Investitionskosten für eigene Fabriken. Andere Hersteller sehen die Outsourcing-Option mit größerer Zurückhaltung. Zum einen versprechen sie sich von der Eigenfertigung mit selbstentwickelten Technologien auch in Zukunft ein Potential zur Differenzierung gegenüber Wettbewerbern. Zum anderen optieren teilweise auch die Systemhersteller gegen ein weitgehendes Outsourcing, da ihre Innovationspartnerschaften mit den Halbleiterherstellern wesentlich auch auf der gesicherten Prozess- und Fertigungskompetenz der letzteren beruhen; Outsourcing seitens des Halbleiterherstellers würde hier zu große Unsicherheiten schaffen.

Insgesamt gehen alle Prognosen für die nächsten Jahre von einem deutlichen Anstieg des Foundry-Anteils an der Halbleiterfertigung aus. Der Effekt liegt nicht nur in einer Fragmentierung der Wertschöpfungsketten. Vielmehr bedeutet die Entstehung von Foundries, die über eine eigene Technologieentwicklung verfügen, eine Entkopplung von Produktentwicklung (die bei den integrierten Halbleiterherstellern stattfindet) und Prozessentwicklung (die bei den Foundries lokalisiert ist) - und zwar auch bei den technologisch avancierten, höchstintegrierten Produkten für die neuen Massenmärkte. Eine breitflächige Durchsetzung dieser Arbeitsteilung würde eine recht weitgehende Veränderung des Innovationsmodells der 90er Jahre bedeuten (das auf einer engen Kopplung von Produkt- und Prozessentwicklung beruht).

Der Zukauf von Design-Modulen als Intellectual Property (IP)

Was die Produktentwicklung angeht, gab es bereits in den 80er Jahren das Pendant zu den Foundries: Hersteller, die sich auf die Produktentwicklung spezialisierten, aber über keine eigene Fertigung verfügten (sogenannte "design houses" bzw. "fabless companies"). Im Unterschied zum Foundry-Fall gab es hier allerdings kaum

Berührungspunkte mit den integrierten Halbleiterherstellern - normalerweise wurden solche Designs nicht zugekauft. Abgesehen davon konzentrierten sich die Design-Unternehmen häufig mit sogenannten ASICs (Application Specific ICs) auf kleinvolumige, hochgradig anwendungsspezifische Nischenmärkte - und zielten gerade nicht auf die Massenmärkte für Hochleistungselektronik.

Auch in bezug auf die Produktentwicklung haben sich die Verhältnisse allerdings zwischenzeitlich verändert: Die integrierten Halbleiterhersteller kaufen mittlerweile Produktentwicklungen zu - genauer gesagt: Teile davon. Diese Veränderungen speisen sich aus zwei Quellen. Zum einen geraten die Halbleiterindustrie zunehmend in eine Situation, in der die Produktentwicklungskapazitäten (beginnend bei der entsprechenden CAD-Software) zum Engpass im Innovationsprozess werden.²⁰ Der Grund hierfür sind die wachsende Komplexität der Schaltkreise sowie die zunehmende Ausdifferenzierung bei komplexen anwendungsspezifischen Produkten. Die Hersteller reagieren darauf mit dem Versuch, ihre Design-Kapazitäten *anwendungsübergreifend* zu nutzen und Designs möglichst mehrfach zu verwenden. Daraus ergibt sich die Strategie, Designs möglichst modular auszulegen. Mit der Modularisierung des Designs eröffnet sich nun die Möglichkeit, Produktmodule auch *unternehmensübergreifend* zu nutzen, ohne damit den Zugriff auf das komplette Produkt-Design zu verlieren. Diese Module bzw. Schaltungsfragmente werden mittlerweile als "intellectual property" zwischen den Unternehmen gehandelt. Und genau auf diese Schaltungsfragmente spezialisiert sich ein neuer Unternehmenstypus, mit dessen Entstehung die Entwicklung auch hier in der zweiten Hälfte der 90er Jahre eine neue Dynamik gewinnt.

20 Diese Problematik findet ihren Ausdruck in einem globalen Mangel an Designern und Softwareentwicklern, um die die Unternehmen mittlerweile ebenso global konkurrieren. Die jüngste Initiative der Bundesregierung zur Anwerbung ausländischer Experten kann den deutschen Unternehmen in diesem Zusammenhang lediglich zu einer besseren Wettbewerbsposition an diesem Experten-Arbeitsmarkt verhelfen. Sie löst das dahinterstehende strukturelle Problem jedoch vermutlich ebenso wenig wie eine ausschließlich auf die Erhöhung der inländischen Ausbildungskapazitäten bedachte Strategie.

Es entstehen zunehmend Spezialisten für bestimmte (Teil-)Problemlösungen komplexer Chip-Designs. Oft handelt es sich um Lösungen für die neuen Anwendungsprobleme, die im Zuge der Ausweitung der Hochleistungselektronik in die neuen Massenmärkte jenseits des PC entstehen. Die integrierten Halbleiterhersteller kaufen das ihnen - in den neuen Anwendungsfeldern - fehlende Know-How in Gestalt von Design-Modulen zu, die sie dann anschließend mit anderen Modulen zu einem kompletten Schaltungsentwurf integrieren. Damit ist der Produktentwicklungsprozess über mehrere Unternehmen verteilt. Im Unterschied zu den Innovationspartnerschaften zwischen System- und Halbleiterhersteller (vgl. oben unter 3.) bedarf es im Fall des Handels mit IP allerdings keines engen Kooperationsverhältnisses zwischen den Akteuren. Die Elemente des Innovationsprozesses sind stärker entkoppelt.

Abschließend lässt sich festhalten: Das Ausmaß der Fragmentierung der Innovationsketten nimmt weiter zu. Klar zu sein scheint auch, dass auf den verschiedenen Stufen des Innovationsprozesses neue Akteure eine Rolle spielen. Die Frage bleibt, welche Effekte diese Fragmentierungsdynamik für die integrierten Halbleiterhersteller bzw. -breiter gefragt - für die Koordination von Innovationsketten in der Mikroelektronik hat. Ein Manager der strategischen Geschäftsplanung eines unserer Untersuchungsbetriebe brachte die Implikationen der neuen Situation wie folgt auf den Punkt: "Ich kann bereits heute den gesamten Wertschöpfungsprozess in zehn komplette Teilprozesse mit kompatiblen Schnittstellen zerlegen – also in Materialien, Anlagen, Frontend, Backend, Logistik, Distribution usw. Das heißt, als integrierter Hersteller muss ich an sieben oder acht Stellen radikales Benchmarking betreiben und mich gegen eine virtuelle 'best company' benchmarken." (Mgr. Strategische Geschäftsplanung, Unternehmen L). Für die integrierten Halbleiterhersteller ist also keineswegs mehr selbstverständlich, worin und auf in welchen Wertschöpfungsstufen genau ihre Kernkompetenzen liegen. Anders formuliert: Das, was einen Halbleiterhersteller eigentlich ausmacht, welche Kompetenzen und Funktionen er integriert, wird in den nächsten Jahren

sehr viel stärker noch als heute eine offene Frage sein. Damit ist beispielsweise unklar, ob die hohe strategische Relevanz, welche die Prozessinnovationsfähigkeit (mit all ihren Implikationen) für die Wettbewerbsstrategien der integrierten Halbleiterhersteller in den 90er Jahren hatte, auch in Zukunft noch gilt. Ebenso offen ist, wie die Austauschbeziehungen innerhalb derart stark fragmentierter Innovationsketten ausgestaltet sein werden. Denn die Tatsache der Fragmentierung besagt noch wenig über die neuen Koordinationsmechanismen und Austauschformen.

Literatur

- Angel, David Philip (1994): *Restructuring For Innovation. The Remaking of the U.S. Semiconductor Industry*. New York, London (Guilford Press).
- Borras, Michael; Zysman, John; (1997): *Wintelism and the Changing Terms of Global Competition: Prototype of the Future?*, Berkeley Roundtable on the International Economy (BRIE), Working Paper 96B, Berkeley.
- Buss, Klaus-Peter; Wittke, Volker (1996): *Organisation von Innovationsprozessen in der US-Halbleiterindustrie - Zur Veränderung von Unternehmensstrategien und Innovationskonzepten seit Mitte der 80er Jahre*, in: SOFI-Mitteilungen 23 (1996), S. 45-66.
- Buss, Klaus-Peter; Wittke, Volker (1999a): *Die "Semiconductor Manufacturing Technology"-Ausbildung in den USA. Zur Entstehung einer College-Ausbildung für die Halbleiterindustrie*, Bericht an das LEONARDO-Projekt "EU-Qualifikation Mikroelektronik", Göttingen.
- Buss, Klaus-Peter; Wittke, Volker (1999b): *Neue Innovationsmodelle in der europäischen und US-amerikanischen Mikroelektronik. Eine internationale vergleichende Untersuchung über Veränderungen von Geschäftsmodellen, Entwicklungs- und Fertigungsorganisation und Qualifikationsversorgung in den 80er und 90er Jahren*, Göttingen.
- Chandler, Alfred D. (1990): *Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism*, Cambridge MA (Harvard University Press).
- Chandler, Alfred D. (1997): *The Computer Industry. The First Half-Century*, in: Yoffie, David B. (Hrsg.) (1997): *Competing in the Age of Digital Convergence*, Boston MA (Harvard Business School Press), S. 37-122.
- Florida, Richard; Kenney, Martin (1990): *The Breakthrough Illusion. Corporate America's Fai-*

- lure to Move from Innovation to Mass Production. New York (Basic Books).
- Friedrichs, Günter; Schaff, Adam (Hrsg.) (1982): Auf Gedeih und Verderb. Mikroelektronik und Gesellschaft. Bericht an den Club of Rome, Wien.
- Glutz, Peter (1999): Die beschleunigte Gesellschaft. Kulturkämpfe im digitalen Kapitalismus, München.
- Graham, Bruce; Burgelman, Robert A. (1991): Intel Corporation (B): Implementing the DRAM Decision, Graduate School of Business, Stanford University, Case Study BP-256B.
- Grove, Andrew S. (1990): The Future of the Computer Industry, in: California Management Review, Vol. 33, Nr. 1 (Fall 1990), S. 148-160.
- Grove, Andrew S. (1996): Only the Paranoid Survive. How to Exploit the Crisis Points That Challenge Every Company and Career., London (HarperCollins Publishers).
- Iansiti, Marco (1998): Technology Integration. Making Critical Choices in a Dynamic World, Boston MA (Harvard Business School Press).
- ICE (1986): Status 1986. A Report on the Integrated Circuit Industry, Scottsdale AZ (Integrated Engineering Corporation).
- Jelinek, M; Schoonhoven, C. (1990): The Innovation Marathon. Lessons from High Technology Firms, Oxford (Basil Blackwell).
- Kenney, M.; Florida, R. (1993): Beyond Mass Production. The Japanese System and its Transfer to the U.S., New York, Oxford (Oxford University Press).
- Lester, Richard K. (1998): The Productive Edge. How U.S. Industries Are Pointing the Way to a New Era of Economic Growth, New York, London (W. W. Norton & Company)
- McIntosh, Stuart (1997): Doubling Capital Effectiveness, Rede vor dem SEMI's European Strategy Symposium (Februar 1997, Edinburgh), Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI), Brüssel.
- Nora, Simon; Minc, Alain (1979): Die Informatisierung der Gesellschaft, Frankfurt/Main, New York.
- Prestovitz, Jr., Clyde V. (1988): Trading Places: How We Allowed Japan to Take the Lead, New York (Basic Books, Inc., Publishers).
- Saxenian, AnnaLee (1994): Regional Advantage. Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128. Cambridge/MA, London (Harvard University Press).
- Schiller, Dan (1999): Digital Capitalism: Networking the Global Market System, Cambridge MA (MIT Press).
- SEMATECH (1997): SEMATECH – Partnering for Workforce Development (1997): Training the Semiconductor Workforce of Tomorrow. Best Practices of Community College Semiconductor Manufacturing Programs and Results of Focus Groups with Semiconductor Manufacturing Technology Students, o.O.
- Voskamp, Ulrich; Wittke, Volker (1994): Von "Silicon Valley" zur "virtuellen Integration" – Neue Formen der Organisation von Innovationsprozessen am Beispiel der Halbleiterindustrie, in: Sydow, J.; Windeler, A. (Hrsg.) (1994): Management interorganisationaler Beziehungen, Opladen, S. 212-243
- Wittemann, Klaus-Peter (1995): Postfordismus – Überlegungen zu einer Suchstrategie, SOFI-Paper, Göttingen.