

## **Organisation von Innovationsprozessen in der US-Halbleiterindustrie - Zur Veränderung von Unternehmensstrategien und Innovationskonzepten seit Mitte der 80er Jahre**

**Klaus-Peter Buss, Volker Wittke**

*Der folgende Beitrag stellt Zwischenergebnisse des laufenden SOFI-Projekts "Organisation von Innovationsprozessen in der Halbleiterindustrie" vor, das im Rahmen des "Verbundes Sozialwissenschaftliche Technikforschung" vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie gefördert wird. Dieses international vergleichend angelegte Projekt fragt nach der inner- wie zwischenbetrieblichen Reorganisation von Innovationsprozessen. Die hier präsentierten Befunde konzentrieren sich auf die innerbetriebliche Seite dieses Reorganisationsprozesses bei den US-Halbleiterherstellern. Hinsichtlich der überbetrieblichen Dimension der Fragestellung sind Projektbeiträge bereits an anderer Stelle vorgelegt worden (Voskamp/Wittke 1994; Wittke 1996). Im vorliegenden Artikel wurden zitierte Passagen aus englischsprachigen Expertengesprächen sowie aus der englischsprachigen Literatur von uns ins Deutsche übertragen.*

### **1. Der unerwartete Wiederaufstieg der US-Halbleiterindustrie in den 90er Jahren**

In den 80er Jahren standen die Zeichen in der US-Halbleiterindustrie auf Sturm. Nachdem die ersten Dekaden der Geschichte dieser Branche von einer Dominanz US-amerikanischer Hersteller geprägt waren, hatte sich das Bild seit Ende der 70er Jahre einschneidend geändert. Innerhalb kurzer Zeit eroberten japanische Hersteller beachtliche Weltmarktanteile, Mitte der 80er Jahre hatten sie die US-Produzenten sogar aus der weltweit führenden Position verdrängt (vgl. Schaubild 1). Die US-Unternehmen fielen in der Rangliste der weltweit größten Halbleiterhersteller zurück (vgl. Tabelle 1); in der zweiten Hälfte der 80er Jahre mußten einige von ihnen zudem kräftige Verluste hinnehmen, und selbst traditionsreiche Unternehmen<sup>1</sup> verloren in dieser Phase ihre Eigenständigkeit. Ähnlich rasant verlief der Prozeß des Aufholens und Überholens japanischer Hersteller bei den Geräten und Anlagen für die

Halbleiterfertigung (vgl. Schaubild 2). Weil damit nicht nur die Chip-Produzenten von einem relativen Niedergang betroffen waren, sondern zugleich auch jenes Netz von Anlagenherstellern und Materialzulieferern ("supply-base"), welches für die langfristige Entwicklungsfähigkeit der Halbleiterindustrie entscheidende Bedeutung hat, empfanden viele Akteure in den USA der späten 80er Jahre die "japanische Herausforderung" in dieser Branche als besonders gravierend.

In der wissenschaftlichen Diskussion wurden für diesen Bedeutungsverlust der US-Halbleiterindustrie bis vor kurzem Argumente ins Feld geführt, die sich ungeachtet zahlreicher Nuancen auf folgende Formel bringen lassen: Das Innovationsmodell der US-Hersteller, welches für die - von unsteter technischer Entwicklung geprägte - Frühphase der Industrie seine Vorzüge gehabt habe, sei unter den Bedingungen einer zunehmenden Reifung der Halbleiterbranche gegenüber dem Innovationsmodell japanischer Hersteller mehr und mehr ins Hintertreffen geraten. Danach seien die (produkt)design-orientierten US-Hersteller vor allem auf spektakuläre technische

---

<sup>1</sup> Das spektakulärste Beispiel in diesem Zusammenhang ist das Ende des Branchenpioniers Fairchild.



Durchbrüche ("breakthrough innovations") ausgerichtet und hätten die Fertigungsorganisation vernachlässigt. Die häufige Gründung neuer Hersteller durch die Abspaltung kompletter Wissenschaftler- und Ingenieurteams aus bestehenden Unternehmen ("chronic entrepreneurship") störe zudem eine kontinuierliche Entwicklung (die gerade Kennzeichen reifer Industrien ist) beträchtlich. Ein Effekt, welcher durch die verbreitete Unabhängigkeit - d.h. die vertikale Nicht-Integration - der US-Hersteller (und die damit verbundenen Unsicherheiten bei Absatz und Kapitalbeschaffung) zusätzliche Verstärkung erfahre. Demgegenüber seien die japanischen Hersteller mit ihrem eher inkrementellen Innovationsmodus angesichts mittlerweile stabiler technologischer Entwicklungspfade<sup>2</sup> im Vorteil. Japanische Hersteller legten stärkeren Wert auf die fertigungstechnischen Implikationen von Produktinnovationen ("design for manufacturability") und seien darüber in der Lage, mit hohen Qualitäts- und Ausbeuteraten zu fertigen sowie neue Prozesse schneller auf dieses hohe Niveau zu bringen. Als Rahmenbedingung hierfür seien langfristige (durch ein wechselseitiges Vertrauensverhältnis gekennzeichnete) Beziehungen zu den Anlagen-Herstellern ebenso wichtig wie die Einbindung in Keiretsu-Strukturen, welche den Absatz langfristig stabilisierten und Investitionen auch in Zeiten von Flaute ermöglichen (Borras 1988; Florida/Kenney 1990; Kenney/Florida 1993).

Die Quintessenz dieser Diskussion bestand darin, für die 90er Jahre eine Fortsetzung des - zumindest relativen - Niedergangs der US-Halbleiterindustrie zu erwarten, wenn die US-Hersteller die Organisation von Innovationsprozessen nicht erheblich veränderten. Vor diesem Hintergrund hat eine Reihe von Autoren Ende der 80er/Anfang der 90er Jahre auch entsprechende Warnungen bzw. Empfehlungen ausgesprochen wie der drohende Niedergang abzuwenden sei - allerdings mit geradezu gegensätzlichen Stoßrichtungen. Die einen forderten den konsequenten Ausstieg aus der Massenproduktion und die Konzentration auf design-intensive, anwen-

dungsspezifische Produkte in kleinen Stückzahlen; zumindest die Massenproduktion, wenn nicht gar die Fertigung generell, könne man getrost anderen überlassen (Gilder 1988; Saxenian 1990). Die anderen argumentierten, eine Aushöhlung der Fertigungskompetenz würde perspektivisch auch die High-Tech-Nischen bedrohen, und forderten eine Adaption zentraler Elemente des "japanischen Innovationsmodells", um die offenbar gewordenen Schwächen auszubügeln (Borras 1988; Ferguson 1988; Prestovitz 1988; Florida/Kenney 1990).

Tatsächlich hat sich der Bedeutungsverlust der US-Hersteller in den 90er Jahren nicht weiter fortgesetzt, soviel zeigt sich bereits auf den ersten Blick. Im Gegenteil: In relativ kurzer Zeit hat sich eine Trendumkehr bei den Marktanteilen der Halbleiterproduzenten wie auch der Hersteller von Fertigungsausrüstungen vollzogen (vgl. Schaubilder 1 und 2); die US-Hersteller sind in der internationalen Rangliste wieder nach oben geklettert, und eine Reihe von ihnen vermeldet gegenwärtig Rekordgewinne (vgl. Tabelle 1). Damit stellt sich die Frage: Haben die US-Hersteller innerhalb weniger Jahre ihr Innovationsmodell wider Erwarten derart grundlegend geändert, daß sich der zu beobachtende Trendwechsel damit erklären ließe? Haben sie das "japanische Innovationsmodell" erfolgreich adaptiert, oder haben sie eigene Wege beschritten? Worauf also basiert ihr Comeback?

Unsere bisherigen Ergebnisse<sup>3</sup> deuten darauf hin, daß die US-Hersteller auf die "japanische Herausforderung"

2 In Anlehnung an den Begriff der "technological trajectories" von Dosi (1982; 1984)

3 Diese Zwischenergebnisse beruhen *erstens* auf Expertengesprächen, die wir bei bislang drei US-Halbleiterherstellern durchgeführt haben. Sie basieren *zweitens* auf der Auswertung der umfangreichen - und zu einem erheblichen Teil "grauen" - Literatur zur jüngsten Entwicklung der Halbleiterindustrie. In diesem Zusammenhang sind vor allem die bislang nahezu ausschließlich in Form von Forschungsberichten verfügbaren Ergebnisse des in Berkeley (University of California) angesiedelten "Competitive Semiconductor Manufacturing Survey" (CSM) von Bedeutung. Dieses seit 1992 laufende Projekt (an dem Wissenschaftler der "Haas School of Business", des "College of Engineering", des "Berkeley Roundtable on the International Economy" und des "Institute of Industrial Relations" beteiligt sind) vergleicht anhand detaillierter Daten die Effizienz ("manufacturing performance") von Halbleiterwerken in den USA, Europa und Asien, freilich ohne die Ergebnisse nach Herkunftsland der Hersteller auszuwerten oder auszuweisen. Für die Interpretation der CSM-Ergebnisse und zusätzliche Hintergrundinformationen waren *drittens* Gespräche mit einer Reihe der an

der 80er Jahre reagiert und ihre Strategien nachhaltig geändert haben. Auf eine Formel gebracht lassen sich die neuen Strategien allerdings weder als Rückzug aus der Massenproduktion (und die Konzentration auf schmale Nischen oder gar als Verzicht auf die eigene Fertigung) noch als Übernahme des "japanischen Innovationsmodells" interpretieren. Vielmehr haben die US-Hersteller *erstens* Unternehmensstrategie und Produktmix verändert. Man zielt nun auf andere Märkte als in den 80er Jahren und versucht damit gerade jenes Innovationsproblem zu vermeiden, auf welches die japanischen Hersteller so bestechend gute Antworten gefunden haben. Die Veränderung der Innovationsproblematik in

eine Richtung, in der "amerikanische" Antworten eher adäquat sind, war vielleicht nicht die intendierte Zielgröße, aber doch das Ergebnis der Umorientierung in den Unternehmensstrategien. *Zweitens* haben die Hersteller für dieses, gegenüber den 80er Jahren veränderte Innovationsproblem neue organisatorische Lösungen gefunden oder sind dabei, solche Lösungen zu entwickeln. Lösungen, deren Gemeinsamkeit in einem neuen Verhältnis zwischen (Prozeß)entwicklung und (Massen)produktion liegt.

Gewiß, vieles spricht dafür, daß der Wiederaufstieg der US-Halbleiterindustrie mit diesen Veränderungen zu tun hat. Allerdings wäre es verfehlt, nunmehr in den Unternehmensstrategien und Innovationskonzepten der US-Hersteller den neuen Königsweg für die Organisation von Innovationsprozessen zu sehen, nachdem die Dis-

---

dem CSM-Projekt beteiligten WissenschaftlerInnen wichtig. *Viertens* schließlich haben wir Gespräche mit SozialwissenschaftlerInnen, die sich in anderen Kontexten mit der Branche beschäftigt haben, sowie mit einschlägigen Beratungsfirmen (Dataquest; VLSI-Research) geführt.

kussion (nicht nur in den USA) japanische Strategien und Praktiken jahrelang so umstandslos mit "best practices" übersetzt hatte. Einerseits wäre es überzogen, den Trendwechsel im Verhältnis der US- zu den japanischen Herstellern vollständig veränderten Strategien und Praktiken zuzuschreiben. Für die Veränderung der Situation auf dem Weltmarkt spielen auch andere Faktoren eine Rolle - hier sei nur auf die Folgen der Yen-Aufwertung sowie die Kapitalverteuerung für japanische Hersteller nach dem Ende der "bubble economy" hingewiesen. Andererseits ist die Situation der US-Hersteller ausgesprochen differenziert. Nicht *die* US-Halbleiterindustrie ist erfolgreich, sondern es gibt besonders erfolgreiche Hersteller (wie Intel, Texas Instruments oder Motorola), während andere nur mittelmäßig wachsen (und Gewinn abwerfen) und manche - vor kurzem noch als erfolgsversprechend gehandelte - Hersteller sich sogar zu Übernahmekandidaten entwickelt haben. Differenziert sieht die Situation auch in bezug auf die Organisation von Innovationsprozessen aus: Da sich das Innovationsproblem je nach Unternehmensstrategie und Produktmix unterschiedlich stellt, gibt es selbst innerhalb der US-Halbleiterindustrie keine "one best practice". Von daher würde die Suche nach *dem* Erfolgsrezept der US-Hersteller in puncto Innovation in die Irre führen.

## **2. Neue Unternehmensstrategien bewirken eine Verschiebung der Innovationsproblematik**

### **2.1. Der Zusammenhang zwischen Unternehmensstrategie und Innovationsproblem in den 60er und 70er Jahren**

Wenngleich sich die Halbleiterindustrie infolge ihrer starken Innovationsorientierung seit Beginn in ihrer Gesamtheit von anderen Branchen abhob, war die Innovationsproblematik innerhalb der Branche doch keineswegs homogen. Vielmehr variierten die Anforderungen an die Organisation von Innovationsprozessen in Abhängigkeit von Marktsegment und Unternehmensstrate-

gie beträchtlich. Für die US-Hersteller lassen sich dabei für den Zeitraum bis Mitte der 80er Jahre - stark vereinfacht - zwei Strategievarianten unterscheiden: ein auf die *Entwicklung technisch überlegener Produkte* (und damit in erster Linie auf die Konkurrenz über *Produktinnovationen*) ausgerichtetes Konzept sowie eine Strategie, welche in erster Linie auf eine *kostengünstige Produktion* setzte und von daher *Prozessinnovationen* einen besonderen Stellenwert beimaß.

### **Unterschiedliche Unternehmensstrategien**

Das *erste Konzept* zielte darauf ab, in rascher Folge Chips mit neuen Produkteigenschaften zu entwickeln und auf den Markt zu bringen. Nicht bei jedem neuen Produkt handelte es sich um einen technischen Durchbruch, aber häufig waren die Innovationssprünge doch so groß, daß die Halbleiter neue Anwendungsmöglichkeiten eröffneten und somit zur Diffusion der Mikroelektronik in den 60er und 70er Jahren beitrugen. Die Hersteller, welche dieses Konzept verfolgten, konkurrierten nicht über den Preis, sondern über *Design-Kompetenz*. Das heißt die Fähigkeit, Produkte zu entwickeln, welche den Kunden überlegene Leistungsmerkmale bieten oder für die es keinen vergleichbaren Ersatz gibt (Jelinek/Schoonhoven 1990). Weil sie Produktinnovationen einen hohen Stellenwert beimaßen, verfügten diese "Pioniere" zumeist über zahlreiche Patente. Auch wenn sie - häufig erst in zeitlichem Abstand zur eigenen Markteinführung - anderen Unternehmen Lizenzen erteilten, setzten sie auf die technische Exklusivität ihrer Produkte. Viele "Pioniere" verließen den Markt, wenn die von ihnen entwickelten Bauelemente in Massenproduktionsstückzahlen gefertigt wurden und das Anbieterfeld sich - über Lizenzen oder durch Nachahmerentwicklungen - ausweitete. Bei diesen High-end-Herstellern handelte es sich häufig um Spezialisten mit einem schmalen Produktspektrum, die ihre Aktivitäten auf einige wenige Ausschnitte des Halbleitermarktes konzentrierten.

Die Alternativstrategie war auf eine möglichst *kostengünstige Produktion* ausgerichtet. Hersteller, welche dieser Strategie folgten (Low-cost-Anbieter), entwickelten die von ihnen angebotenen Halbleiter nicht in jedem Fall selbst, sondern agierten häufig unter Verwendung fremder Lizenzen als "second source"<sup>4</sup>. Darüber hinaus fertigten sie unternehmensübergreifend weitgehend standardisierte Produkte (sogenannte "commodities"), gleichsam die "Stangenware" der Halbleiterindustrie. Kennzeichnend für "commodities" ist, daß sie bereits etablierte Anwendungen für Halbleiter bedienen und von zahlreichen Herstellern angeboten werden. Typischerweise fielen die Gewinnmargen in diesem Segment deutlich niedriger als bei Produkten, die sich gegenüber anderen Produkten durch eine höhere Leistungsfähigkeit auszeichneten. Für diese Hersteller war die Effizienz ihrer Fertigung von überragender Bedeutung, denn sie konkurrierten in erster Linie über den Preis. Dementsprechend spielte *Prozeß-Kompetenz*, d.h. die Fähigkeit, Fertigungsprozesse im Hinblick auf Qualität und Ausbeuteraten<sup>5</sup> zu optimieren, eine größere Rolle als bei den "Pionieren". Typischerweise deckten Hersteller mit dieser Strategie eher ein breiteres Produktspektrum ab als die High-end-Anbieter - im Branchen-Jargon handelte es sich um "Broadliner".

4 In der Entwicklung der Halbleiterindustrie wurden technologische Neuerungen oftmals von neuen, kleinen Firmen (sogenannte start ups) vorangetrieben, deren Größe und Kapitalkraft ihre Lieferzuverlässigkeit als fraglich erscheinen ließen. Aus diesem Grund bestanden viele Kunden - allen voran das Militär als anfangs wichtigster Großabnehmer - auf die Lizenzierung neuer Produkte an weitere Halbleiterhersteller, um so auf zusätzliche Lieferanten ("second source") zurückgreifen zu können.

5 Die Ausbeuterate ("yield") ist ein zentraler Parameter für die Effektivität von Halbleiterfertigungen; bei gleicher Kapazität einer Fertigungslinie (gemessen in der Zahl der pro Zeiteinheit prozessierten "Wafer") erhöht sich der verwendbare Output in Abhängigkeit von der Ausbeuterate. Dabei wird unter Ausbeute entweder der Anteil jener "Wafers" an den ursprünglich gestarteten verstanden, welche den Fertigungsprozeß komplett durchlaufen, d.h. nicht in den Qualitätskontrollen zwischen einzelnen Fertigungsschritten aussortiert wurden (sogenannte "line yield"); oder der Anteil der am Ende funktionstüchtigen Bauelemente an der theoretisch möglichen Zahl, wenn nämlich alle gestarteten "Wafer" den Fertigungsprozeß beendet hätten und auf jedem dieser "Wafer" sämtliche Bauelemente funktionstüchtig wären (sogenannte "die yield").

## Unterschiedliche Innovationsproblematiken

Zwar kam der raschen Umsetzung neu entwickelter Produkte in die Fertigung in beiden Strategievarianten eine Schlüsselrolle zu. Freilich war diese Umsetzungsproblematik jeweils unterschiedlich akzentuiert, und folglich differierten die Anforderungen an die Organisation von Innovationsprozessen. Für die auf *Exklusivität bedachten Hersteller* stand im Vordergrund, rasch funktionstüchtige Exemplare ihrer Neuentwicklungen liefern zu können. Weil die "technische Überlegenheit" neuer Produkte in der Halbleiterindustrie immer nur für einen kurzen Zeitraum Bestand hat, lag der kritische Punkt dieser Strategie in einer ausreichenden Verfügbarkeit der neuen Bauelemente innerhalb dieser Zeitspanne. Angesichts hoher Gewinnmargen waren die Fertigungskosten pro Stück demgegenüber nachrangig. Von daher konnten sich diese Hersteller eine vergleichsweise schlecht organisierte Fertigung mit geringen Ausbeuten leisten.

Für die *Low-cost-Anbieter* war das Innovationstempo in erster Linie unter dem Gesichtspunkt der Kostensenkung zentral. Im Unterschied zu den vornehmlich auf Verfügbarkeit orientierten High-end-Anbietern kam der Verbesserung der Fertigungsausbeuten in dieser Strategie eine Schlüsselrolle zu. Denn je schneller ein Halbleiterproduzent hohe Ausbeuteraten in der Produktion erzielte, desto aggressiver konnte er die Preise senken, um dadurch Marktanteile zu gewinnen; größere Marktanteile wiederum ermöglichten höhere Produktionsvolumina und - als Ergebnis der damit verbundenen Skaleneffekte - neue Spielräume zur Preissenkung. Da der Preisverfall bei den "commodities" besonders stark ist, stand die Ausnutzung der "economies of scale" bei den Low-cost-Anbietern unter extrem hohem Zeitdruck. Der Zeitablauf entwertete Fortschritte in der Optimierung der Produktion. Wer zu langsam war, verlor angesichts der im Low-cost-Marktsegment geringen Gewinnmargen Profitabilität oder Marktanteile - oder beides.

Gewiß, dieses Branchenbild ist holzschnittartig gezeichnet, und die von den US-Herstellern tatsächlich verfolgte

ten Strategien stellten häufig - freilich unterschiedlich akzentuierte - Mischungen der beiden Strategievarianten dar. So stand beispielsweise der Mikroprozessor-Spezialist Intel stärker für die "Pionier"-Strategie, während ein "Broadliner" wie National Semiconductor den Gegenpol repräsentierte.<sup>6</sup> Aber die Mehrzahl der großen Hersteller - auch ein "Spezialist" wie Intel - fertigte in den 70er und frühen 80er Jahren eben *auch* Speicherchips (sogenannte DRAMs)<sup>7</sup> - die *das* Beispiel für "commodities" schlechthin darstellen. Für das Verständnis der Entwicklung der US-Halbleiterindustrie ist wichtig, daß die US-Hersteller bis in die 80er Jahre hinein in allen Marktsegmenten gleichermaßen präsent waren. Innerhalb der Branche wurden die Marktsegmente von Unternehmen mit unterschiedlichen Strategien bedient, d.h. es gab - über Jahre erfolgreiche - US-Hersteller, deren Strategie sich in erster Linie auf die kostengünstige Fertigung großer Stückzahlen konzentrierte. Die Arbeitsteilung zwischen "Pionieren" und "Nachahmern", zwischen produkt- und prozeßinnovationsorientierten Anbietern markierte zum damaligen Zeitpunkt die Arbeitsteilung *innerhalb* der US-Halbleiterindustrie. Entgegen der verbreiteten Gleichsetzung der gesamten US-Halbleiterindustrie der 60er und 70er Jahre mit den auf "breakthrough innovations" spezialisierten "Pionieren"<sup>8</sup> war für US-Hersteller bis in die 80er Jahre hinein das Nebeneinander unterschiedlich gelagerter Innovationsproblematiken charakteristisch.

Diese Differenzierung ist angebracht, um die vom Vordringen japanischer Halbleiterproduzenten ausgehenden Veränderungsimpulse sowie die Reaktionsweisen der US-Hersteller angemessen zu interpretieren. Japanische Halbleiterhersteller drangen seit Ende der 70er Jahre zwar zunehmend in Märkte vor, die zuvor von der US-Elektronikindustrie dominiert wurden (vgl. Schau-

bild 1). Allerdings fand in den 80er Jahren kein breitflächiger Verdrängungsprozeß statt, sondern die Erfolge japanischer Hersteller konzentrierten sich auf das Marktsegment der "commodities" (Borrus 1988; Angel 1994). Diese Erfolge gingen auch nicht auf generell überlegene Praktiken der Organisation von Innovationsprozessen zurück. Vielmehr entwickelten japanische Halbleiterhersteller ihre spezifischen Stärken in bezug auf jene Innovationsproblematik, welche für die Low-cost-Strategie maßgeblich war: Die rasche Ausnutzung von Effekten der "Lernkurve", um schnelle Kostensenkungen für eine aggressive Preispolitik zu nutzen. Dabei kamen ihnen die Prinzipien "japanischer" Produktionsorganisation zugute, die auch in der Halbleiterfertigung auf hohe Qualität und die Vermeidung von Fehlern ausgerichtet waren - also exakt auf jene Zielgrößen, die hohe Ausbeuteraten zum Ergebnis haben. Bei vergleichbaren Produkten lagen die Ausbeuten Mitte der 80er Jahre denn auch deutlich über denen von US-Herstellern. Darüber hinaus fokussierten die japanischen Halbleiterproduzenten auf inkrementelle Innovationen. Im Unterschied zu den US-Herstellern richteten sie ihre Produktdesigns sehr viel konsequenter auf die Belange der Produktion aus ("design for manufacturability"). "Typischerweise ergab sich daraus ein konservatives Produktdesign, das so weit als möglich auf vorhandenen Technologien aufbaute. Im Gegensatz dazu setzten die meisten US-Hersteller auf komplexere Designs (beispielsweise höhere Schaltkreisdichten)" (Angel 1994, S. 73 f.). Unter diesen Umständen ließen sich neue Produkte sehr viel reibungsloser in die Massenproduktion einführen.

Jener Teil des Halbleitermarktes, auf dessen Anforderungen dieses Innovationskonzept besonders gut aufsaß - nämlich der DRAM-Markt - bildete denn auch bereits in den 70er Jahren das Feld, in dem japanische Halbleiterhersteller besonders reüssierten. Stärker noch als bei anderen Produkten hatte sich bei den DRAMs seit Mitte der 70er Jahre ein ausgesprochen stabiler technologischer Entwicklungspfad ("technological trajectory") herausgebildet. Mit großer Regelmäßigkeit brachten die Hersteller etwa alle drei Jahre eine neue

6 National Semiconductor hatte den Ruf einer "no frills company" (Martin 1992, S. 261), d.h. eines auf technischen "Firlefanz" verzichtenden Unternehmens, das einfachen technischen Lösungen und geringen Fertigungskosten den Vorrang gibt (vgl. auch Jelinek/Schoonhoven 1990, S. 101).

7 DRAM steht für Dynamic Random Access Memory; es handelt sich um die meistverwendete Art von Halbleiterspeichern (die beispielsweise in PC-Arbeitsspeichern eingesetzt wird).

8 Florida/Kenney (1990) vertreten diese Position besonders pointiert.

Produktgeneration mit einer jeweils um den Faktor Vier erhöhten Speicherkapazität (64K, 256K, 1M, 4M, 16M usw.) auf den Markt. Die Produkteigenschaften von DRAMs sind herstellerübergreifend standardisiert. Innerhalb dieses engen Rahmen gibt es zwar unterschiedliche Produktdesigns. Freilich werden diese vor allem davon bestimmt, wie (mit welchen Prozessen) sich die jeweilige Speicherchip-Generation am besten fertigen läßt. Produktentwicklung bei DRAMs ist in extremer Weise "prozeßorientiert" (Hobday 1990). In diesem Teil des Halbleitermarktes verloren die US-Hersteller relativ schnell und ausgesprochen überproportional Marktanteile (vgl. Schaubild 3). In vergleichbarer Weise drangen japanische Hersteller freilich auch in andere "Commodity"-Märkte ein.

Wichtig ist in unserem Zusammenhang, daß die US-Hersteller von der "japanischen Herausforderung" in der Halbleiterindustrie ganz unterschiedlich betroffen waren. Je stärker sie sich auf Low-cost-Strategien ausge-

richtet hatten und je breiter der Raum war, den "commodities" im Produktmix einnahmen, desto stärker gerieten sie durch die Erfolge japanischer Hersteller Mitte der 80er Jahre unter Veränderungsdruck.

## **2.2. Veränderung der Unternehmensstrategien seit Mitte der 80er Jahre: Spezialisierung auf design-intensive Produkte**

Die US-Hersteller bekamen die Auswirkungen der "japanischen Herausforderung" zwar in unterschiedlichem Ausmaß zu spüren, dennoch hatten ihre Antworten eine gemeinsame Stoßrichtung. Seit Mitte der 80er Jahre liefen die Strategien US-amerikanischer Produzenten ganz generell auf eine Abkehr vom Low-cost-Konzept und auf eine Hinwendung zur Entwicklung technisch überlegener Produkte hinaus. Im Verlauf der letzten zehn Jahre hat dieser Strategiewechsel eine weitreichende Veränderung im Produktmix der verschiedenen



Hersteller wie der gesamten US-Halbleiterindustrie zum Ergebnis gehabt. Die etablierten Unternehmen versuchten, sich so weit wie möglich aus den Märkten der "commodities" zurückzuziehen, wobei der spektakulärste Einschnitt in dieser Richtung darin bestand, daß die Mehrzahl der großen US-Halbleiterproduzenten 1985 die Produktion von DRAMs aufgab.<sup>9</sup> Im Vergleich zur Vorsituation spezialisierten sich die US-Produzenten sehr viel stärker auf Märkte für design-intensivere Produkte wie Mikroprozessoren, Mixed-signal-Schaltkreise oder sehr schnelle Logikschaltkreise (vgl. Angel 1994, S. 81). Was lange Zeit eine Arbeitsteilung innerhalb der US-Halbleiterindustrie war, entwickelte sich nunmehr zu einer internationalen Arbeitsteilung, in der japanische (später dann südkoreanische und taiwanische) Hersteller die Rolle von "Commodity"-Anbietern und Low-cost-Produzenten übernahmen.<sup>10</sup>

Die zunehmende Spezialisierung hatte für die Hersteller unterschiedlich weitreichende Umorientierungen ihres Unternehmensprofils zur Folge. Die "Pioniere", die ihre Strategie ohnehin zu einem Gutteil bereits auf die Entwicklung technisch überlegener Produkte ausgerichtet hatten, fokussierten ihre Aktivitäten jetzt vollständig auf diesen Teil des Produktspektrums. Demgegenüber mußten die traditionellen Low-cost-Hersteller einen kompletten Strategiewechsel vollziehen und ihr gesamtes Unternehmensprofil in Richtung auf design-intensive Produkte verändern. Statt in disparaten Märkten jeweils als "Nachahmer" über den Preis zu konkurrieren, versuchten sie nunmehr, den Anteil selbstentwickelter Produkte zu erhöhen und ihre Design-Kompetenz in ausgewählten Marktsegmenten zu bündeln. Das tatsächliche Ausmaß des Strukturwandels gerade der ehemaligen

Low-cost-Anbieter wird durch die teilweise unterdurchschnittlichen Wachstumsraten beim Umsatz leicht verdeckt. Denn während die Betriebe existierende Märkte räumten, konnten sie mit ihren design-intensiven Produkten nur in neuen, zunächst schmalen Märkten Fuß fassen, in denen die Positionen noch nicht fest vergeben waren.<sup>11</sup>

Der "Wende zur Spezialisierung" kam zugute, daß sie im Zeichen wachsender Märkte stattfand; den aufgegebenen "Commodity-" standen im Prinzip neue Wachstumsmärkte gegenüber. Dabei profitierten die US-Hersteller zusätzlich davon, daß sich die Wachstumsdynamik bei den Mikroelektronikanwendungen in den letzten Jahren von der - von japanischen Unternehmen dominierten - Unterhaltungselektronik zu Computern und Telekommunikation verschoben hat, also in Bereiche, in welchen die US-Elektronikindustrie traditionell über starke Marktpositionen verfügt. Dadurch wurde es beispielsweise möglich, daß sich ausgerechnet ein auf nur wenige Produkte (vor allem Mikroprozessoren) fokussiertes Unternehmen wie Intel - in diesem Fall getragen vom überproportionalen Wachstum des PC-Marktes - seit Ende der 80er Jahre mit einem atemberaubendem Expansionstempo zum weltweit größten Halbleiterhersteller entwickeln konnte (vgl. Tabelle 1).

Trotz wachsender Märkte war die "Wende zur Spezialisierung" mit erheblichen Turbulenzen verbunden. Für Firmen, die ihr Unternehmensprofil weitreichend veränderten, ging Spezialisierung mit Werksschließungen und Entlassungen einher. Und selbst für Firmen, die nur einen Teil ihres herkömmlichen Produktmixes aufgaben - wie etwa Intel - verlief die Reorganisation nicht ohne Friktionen.<sup>12</sup>

9 Lediglich Texas Instruments sowie das erst kurz zuvor gegründete Unternehmen Micron setzten die Fertigung von DRAM-Speichern für den freien Markt fort; IBM produzierte zwar ebenfalls DRAMs, aber bis Mitte der 90er Jahre ausschließlich für den internen Bedarf. Motorola nahm die DRAM-Produktion später dann zwar in Gestalt einer gemeinsam mit Toshiba in Japan betriebenen Fertigung wieder auf, allerdings nur in geringen Stückzahlen (Honold 1993, S. 68 f; 144).

10 Der Umkehrschluß wäre freilich falsch: Die japanischen Hersteller beschränken sich keineswegs auf das Marktsegment der Standardprodukte. Eher gilt dies bislang für südkoreanische Anbieter, die sich weitgehend auf die DRAM-Produktion konzentrieren.

11 Von daher ist die Umorientierung gerade bei jenen Herstellern auch Mitte der 90er Jahre noch nicht abgeschlossen, die in der Vergangenheit am stärksten auf die Low-cost-Strategie gesetzt hatten.

12 So weist z.B. auch Andrew Grove, President und CEO der Intel Corp., darauf hin, daß das, was sich in der Theorie so einfach, logisch und gradlinig anhört, in der Praxis die Schließung einer Reihe von Fabriken und die Entlassung zahlreicher Mitarbeiter bedeutet habe (Grove 1995: X).

## Verschiebung der Innovationsproblematik - aber keine "Entwarnung" für die US-Hersteller

Die Spezialisierung auf design-intensive Produkte hat zu einer Verschiebung der Innovationsproblematik geführt. Der Rückzug aus den "Commodity"-Märkten ließ das mit Low-cost-Strategien verbundene Innovationskonzept an Bedeutung verlieren, welches in erster Linie auf eine rasche Kostensenkung in der Massenproduktion ausgerichtet und in dem die Beherrschung von Prozeßinnovationen zentral war. Anders formuliert: Die US-Hersteller entzogen sich mit ihrer Spezialisierungsstrategie der Tendenz nach gerade jener Innovationsproblematik, welche sie im Vergleich zur japanischen Konkurrenz besonders schlecht beherrschten und konzentrierten sich auf Märkte, in denen sie ihre Stärke im Design neuer Produkte gegenüber den komparativen Vorteilen japanischer Hersteller im Bereich der Massenproduktion und Prozeßbeherrschung ausspielen konnten (Angel 1994).

Freilich gelang es den US-Herstellern nur unvollständig, die Auswirkungen der "japanischen Herausforderung" mit einem weitgehenden Rückzug aus den "Commodity"-Märkten zu neutralisieren. Die Hervorhebung von Stärken im Design neuer Produkte einerseits und andererseits in der Prozeßbeherrschung und effizienten Organisation von Massenproduktion verdeckt hier eine entscheidende Differenz zur Frühzeit der Halbleiterindustrie. Die Vorstellung, erfolgreiche Hersteller bräuchten über keine exzellent organisierte Fertigung zu verfügen, wenn sie es nur verstünden, ihre Fähigkeit zu überlegenen Produktinnovationen zu kultivieren, wird seit den 80er Jahren zunehmend brüchig.

Der Hintergrund hierfür liegt im engen Zusammenhang zwischen Produkt- und Prozeßinnovationen, welcher die Halbleiterindustrie von Branchen wie der Automobilindustrie oder dem Maschinenbau unterscheidet.<sup>13</sup> Die

13 "In der Halbleiterindustrie hängen Produktinnovationen sehr viel stärker als in der Automobilindustrie von Prozeßinnovationen ab. Zwar bedeutet auch die Produktionseinführung eines neuen Automodells Zeitaufwand und Investitionen, um Preßformen und Werkzeugmaschinen für die Fertigung von Karosserieteilen und Bauelementen herzustellen, aber ein Modellwechsel bedeutet kaum eine umfassende Umstellung des gesamten Fertigungsprozesses. Produktinnovationen bei Halb-

Spielräume für das Produktdesign werden bei Halbleitern sehr viel stärker von den Leistungsmerkmalen der für den jeweiligen Hersteller verfügbaren Fertigungsprozesse (im Sinne von Integrationsdichte, Signallaufzeiten, Leistungsaufnahme usw.) bestimmt - "... design rules are dictated by the process to be used in manufacturing..." (Hersteller C). Mit anderen Worten: Die Leistungsfähigkeit der Fertigungsprozesse, über die ein Hersteller verfügt, limitiert seine Fähigkeit, technisch überlegene Produkte zu entwickeln und zu produzieren. Der Mikroprozessorhersteller C muß - so die Darstellung des Unternehmens - über bestimmte Technologien und Produkteigenschaften verfügen, um seine Position als führender Hersteller halten zu können. Es kann seine "Produktführerschaft" nur durch "Prozeßführerschaft" behaupten.

Dieser Zusammenhang ist im Grundsatz nicht neu. Bei den "Pionieren" in der Frühzeit der Branche etwa war die legendäre Fähigkeit zu radikalen Produktinnovationen ausgesprochen eng damit verknüpft, daß sie in der Lage waren, ebenso sprunghafte Prozeßinnovationen in Szene zu setzen. Allerdings - und hierin besteht die wichtige Differenz: Die Kosten für die Realisierung von Prozeßinnovationen haben sich seit Mitte der 70er Jahre drastisch erhöht. Nicht nur die Investitionsaufwände für Bau/Umbau und Ausrüstung/Umrüstung geeigneter Fertigungsstätten sind in den letzten 15 Jahren rapide gestiegen. Betroffen sind auch die Kosten für die Entwicklung neuer Fertigungsprozesse, nicht zuletzt weil die hierfür erforderliche materielle Ausstattung (Reinräume, Maschinen und Anlagen) immer aufwendiger geworden ist.<sup>14</sup>

leiten erfordern hingegen häufig größere Veränderungen der Fertigungsprozesse. Dieser Unterschied spiegelt sowohl den engeren Zusammenhang zwischen Prozeß- und Produkteigenschaften, der für Halbleiter typisch ist, als auch den unzureichenden Wissenstand über Halbleiterfertigungsprozesse wieder. Oftmals müssen neue Anlagen, deren Betriebseigenschaften nicht ausreichend bekannt sind, mit einer ebenfalls nur unzureichend verstandenen neuen (Prozeß-) 'Rezeptur' eingeführt werden, um ein neues Produkt zu fertigen" (Hatch/Mowery 1994, S. 2).

14 Prozeßentwicklung meint die Definition jener Fertigungsschritte, die erforderlich sind, um bestimmte Produkteigenschaften zu erreichen. Die Fertigung komplexer Halbleiter erfordert dabei mehrere Hundert solcher Prozeßschritte (die sich aus dem wiederholten Durchlaufen von Prozessen wie Photolithographie, Ätzen, Diffusion und Ionen-Implantation zusam-

Mit den steigenden Kosten entwickelte sich insbesondere innerhalb der US-Halbleiterindustrie in den 80er Jahren eine Kontroverse darüber, inwieweit die Inhouse-Fertigung (und Inhouse-Prozeßentwicklung) für die Entwicklung design-intensiver Produkte unabdingbar sei.

Während die bereits etablierten Hersteller an der Eigenfertigung festhielten<sup>15</sup> und die Eigenaktivitäten auf dem Feld der Prozeßentwicklung im Zuge der Spezialisierungsstrategien sogar noch verstärkten, beschränkte sich eine große Zahl der in den 80er Jahren neugegründeten - und von daher zunächst mit geringer Kapitalkraft ausgestatteten - Halbleiterunternehmen auf das Produktdesign. Diese Start Ups griffen nicht nur in puncto Fertigung auf das Kapazitätsangebot anderer Hersteller zurück.<sup>16</sup> Auch in ihrem Produktdesign unterwarfen sie sich den vorgegebenen Spielräumen andernorts entwickelter Prozesse (Hayashi 1988; Angel 1994; Saxenian 1994). Die damit gegebenen Limitierungen sind - je nach Marktsegment - unterschiedlich ausgeprägt<sup>17</sup> und ihre Auswirkungen auf die strategische Aktionsfähigkeit der Unternehmen waren umstritten. Während Ende der 80er Jahre viele die daraus drohenden Engpässe eher gering veranschlagten und Inhouse-Fertigung und -Prozeßentwicklung als entbehrliche Funktionen bewerteten, scheint das Pendel in jüngster Zeit wieder zurückzuschlagen. Gegenwärtig mehren sich die Anzeichen, daß Hersteller ohne eigene Prozeßentwicklung und Fertigung insbesondere bei technisch avancierten Logikprodukten (etwa Mikroprozessoren) in Schwierigkeiten geraten.

---

mensetzen). Darüber hinaus werden die erforderlichen Leistungsmerkmale der Fertigungsanlagen (beispielsweise von Ätz-Maschinen oder von sogenannten Steppern für die Photolithographie) sowie die Parameter definiert, mit denen die unterschiedlichen Fertigungsschritte prozessiert werden ("recipe"). Da die Halbleiterfertigung naturwissenschaftlich nicht beherrscht wird, hat die Durchführung von Versuchen für die Prozeßentwicklung eine große Bedeutung.

15 Auch die etablierten Hersteller sind in den 80er Jahren dazu übergegangen, einen Teil ihrer Produkte bei anderen Herstellern - sogenannten "foundries" - fertigen zu lassen. Allerdings spielt diese Fremdfertigung für die großen Hersteller nur eine untergeordnete Rolle; Angel (1994, S. 142) kommt in seinem Untersuchungssample für 1990 auf einen durchschnittlichen Anteil fremdvergebener Produktion am Gesamtvolumen von 11,5 %. Zudem fertigen die großen Produzenten die technisch avanciertesten, design-intensiven Produkte in der Regel inhouse (Hayashi 1988).

16 Das Angebot an "Foundry"-Leistungen stieg in den 80er Jahren parallel zur zunehmenden Bedeutung von Herstellern ohne eigene Fertigungskapazitäten (Hayashi 1988; Angel 1994).

17 Bei anwendungsspezifischen Bauelementen (sogenannte ASICs) sind die Spielräume für das Produktdesign stärker von den zugrundeliegenden Prozessen entkoppelt als etwa bei Mikroprozessoren. Zudem können Unternehmen, die ASICs entwickeln, auf eine Vielzahl unterschiedlicher, von verschiedenen Herstellern angebotener Prozesse zurückgreifen.

Wie immer man die Argumente für und wider die Notwendigkeit von Inhouse-Fertigung und eigener Prozeßentwicklung beurteilt: Tatsächlich wird auch in der US-Halbleiterindustrie der weit überwiegende Teil des Marktes von Unternehmen mit Inhouse-Kapazitäten bedient<sup>18</sup>, und unstrittig sind die erforderlichen Vorleistungen in diesen Fällen massiv gestiegen. Hieraus ergeben sich zwei Konsequenzen. Erstens: Weil die Voraussetzungen zur Realisierung von Prozeßinnovationen aufwendiger geworden sind, haben sich die zur Amortisation der Vorleistungen erforderlichen Produktionsvolumina gegenüber der Frühzeit der Branche drastisch erhöht - und diese Volumina steigen weiter. Die Märkte bieten Spielräume für diese Tendenz zu steigenden Stückzahlen: In einer Reihe von Fällen (etwa bei Mikroprozessoren) haben sich aus einstigen Nischen mittlerweile ausgesprochene Volumenmärkte entwickelt, ohne daß die Produkte damit zu herstellerübergreifend standardisierten "commodities" mutiert wären.

Zweitens wirkt sich die Länge des Amortisationszeitraums in dieser schnellebigen Industrie auf die Innovationsfähigkeit der Hersteller aus. Wer in der Lage ist, neue Prozesse schneller als andere zu entwickeln, zu implementieren und auf dieser Grundlage große Produktionsvolumina auf den Markt zu bringen, kann den Return on Invest schneller für die Vorbereitung der nächsten Runde der Prozeßinnovation einsetzen. Mit anderen Worten: Auch die Hersteller design-intensiver Produkte stehen zunehmend vor dem Problem, bei der Einführung neuer Prozesse möglichst rasch die Effekte der Lernkurve auszunutzen, um die Volumenproduktion schnell auf ein hohes Niveau von Qualität und Ausbeute zu treiben.

Beides bedeutet freilich keine Verallgemeinerung jener Innovationsproblematik, welche für die DRAM-Konstellation einschlägig ist. Die Unterschiede zwischen "commodities" und design-intensiven Produkten bleiben bestehen - und selbst zwischen design-intensiven Produkten gibt es wichtige Differenzierungen. Hersteller,

---

18 Das Marktsegment, welches von Herstellern ohne eigene Fertigung bedient wird, wird gegenwärtig auf rund \$ 5 Mrd. geschätzt. (elektronik industrie, 9/1995, S. 25)

deren Unternehmensstrategie (zumindest auch) auf eine Vielzahl kleiner Märkte zielt ("multiple niche strategy"), sind beispielsweise eher darauf angewiesen, rechtzeitig über die jeweils geeigneten Prozesse für ihre breite Produktpalette zu verfügen als im Wettlauf der jeweils avanciertesten Prozesse vorn dabei zu sein.

Am Beispiel von Fall A: "Wenn man über einen Prozeß verfügt, der in bestimmter Weise für einen Nischenmarkt einzigartig ist, dann hat man die Chance, daß kein anderer versucht, einen in diesem Markt zu bedrängen. Das ist der Weg, den eigenen Markt zu schützen. (...) Wir sind nicht so sehr darauf angewiesen, wirklich über die avanciertesten Technologien zu verfügen. Deren Entwicklung überlassen wir anderen, die uns technologisch eine Generation, d.h. anderthalb Jahre voraus sind" (Director "Quality & Product Reliability").

Und weil sich das Innovationsproblem selbst - je nach Markt und Firmenstrategie - unterschiedlich stellt, gibt es auch keine "one best practice" für seine Bewältigung. Dies ist auch eine ausgesprochen wichtige - wenn auch vorläufige - Schlußfolgerung des "Competitive Semiconductor Manufacturing Survey":

"Es gibt keinen Königsweg für die Einführung neuer Prozesse in die Fertigung. Was sich letztendlich als der beste Weg erweist, hängt vom Produktmix und der Strategie des einzelnen Unternehmens ab. Für einen Hersteller technologisch avancierter Logik-Chips kann es wesentlich wichtiger sein, schnell neue Chips in geringen Mengen an Schlüsselkunden ausliefern zu können, um so Marktstandards zu etablieren und eine führende Position im Technologiewettlauf zu demonstrieren, als in der Fertigung den Ausschuß zu verringern und schnell hohe Produktionsstückzahlen zu erreichen. Dies ist aber wiederum für einen DRAM-Hersteller wichtigstes Ziel" (Borrus/Hatch/Mowery 1994, S. 55).

Zusammenfassend läßt sich festhalten: Die Einführung neuer Prozesse in die Volumenproduktion stellt auch für die Hersteller design-intensiver Produkte - bei allen Differenzierungen zwischen Marktsegmenten und Unternehmensstrategien - mehr und mehr ein Schlüsselproblem im Innovationsprozeß dar. In bezug auf diese Problematik hatten sich die traditionellen Innovationskonzepte und -praktiken der US-Hersteller aber gerade als Schwachpunkt erwiesen. Von daher ergab sich Mitte der 80er Jahre auch bei jenen Herstellern ein erheblicher

Veränderungsbedarf in der Organisation von Innovationsprozessen, die ihr Profil erfolgreich auf design-intensive Produkte spezialisierten.

#### **4. Neues Verhältnis von (Prozeß)entwicklung und (Massen)produktion**

In der Frühzeit der US-Halbleiterindustrie, in der viele als Start Ups entstandene Hersteller noch Kleinunternehmen mit gering ausgeprägter funktionaler Arbeitsteilung waren, fand die Prozeßentwicklung zu einem erheblichen Teil innerhalb der Fertigung statt. In den 70er Jahren adaptierten dann vor allem die großen Hersteller die Prinzipien des Modells industrieller Massenproduktion mit einer klaren organisatorischen, teilweise auch räumlichen Trennung von (Prozeß)entwicklung und Produktion; die Produktionsbereiche und Forschung und Entwicklung waren in diesen Fällen innerhalb der Betriebe in unterschiedliche Berichtswege eingebunden (Angel 1994; Saxenian 1994). Freilich vollzogen nicht alle US-Hersteller diese Abspaltung. In den 80er Jahren fand verbreitet zumindest ein Teil der Prozeßentwicklung noch innerhalb der Fertigung statt; insbesondere bei kleinen Herstellern ist dies auch heute noch der Fall.

Beide Innovationsmodelle (die Fortsetzung des Pioniermodells der Halbleiterindustrie wie die Adaption des Massenproduktionsmodells) stellten unzulängliche Antworten auf die veränderte Innovationsproblematik der 80er Jahre dar. Die Fortsetzung des Pioniermodells führte zu einem wachsenden Spannungsverhältnis zwischen den unterschiedlichen Logiken von (Prozeß)entwicklung und (Massen)produktion, je mehr sich Start Ups zu Großunternehmen entwickelten und das Fertigungsvolumen sich in Großseriendimensionen bewegte. Denn während Prozeßentwicklung der Sache nach mit einer ständigen Änderung von Prozeßparametern verbunden ist, zielt Massenproduktion darauf, einmal eingefahrene - "reife" - Prozesse möglichst wenig zu verändern; zudem konfligiert ein hoher Anteil von Entwicklungslosen mit einer Orientierung auf maximalen Durchsatz. Kurz: Prozeßentwicklung innerhalb der Großse-

rienfertigung wurde zum Störfaktor. Zusätzlich erschwert wurde die Integration von Entwicklung und Produktion dadurch, daß die in den Start-Up-Zeiten dominierende, im Pioniermodell auch später noch intakte Ingenieurs- und Entwicklerkultur mit ihren Widerständen gegen formalisierte Abläufe und Strukturen eine unzureichende Dokumentation von Prozeßmodifikationen nach sich zog. Unter diesen Umständen zeitigte das Pioniermodell mehr und mehr "horrible results" - furchtbare Ergebnisse (David Mowery).

Das Massenproduktionsmodell mit seiner weitgehenden Entkopplung von Entwicklung und Produktion bot auf der anderen Seite zwar den Rahmen dafür, daß sich die beiden Logiken ungestört entfalten konnten. Prozeßentwicklung fand hier in einer separaten Einrichtung - einer Entwicklungslinie oder Entwicklungsfabrik - statt, die ausschließlich als Hilfsmittel für die Entwickler fungierte; die Massenproduktion wurde von Entwicklungsaufgaben nicht tangiert. Der Preis für die Entkopplung lag freilich darin, daß sich bei der Einführung neuer Prozesse ein beachtliches Transferproblem stellte. Prozesse, die unter den Laborbedingungen entwickelt werden, lassen sich in der Halbleiterfertigung nicht ohne weiteres auf die Großserienfertigung übertragen. Allein schon der Übergang von der Klein- zur Großserie macht Modifikationen erforderlich. Häufig verfügten Entwicklungseinrichtungen und Produktionsstätten zudem nicht über die identische Ausstattung mit Maschinen und Anlagen, oft variierte auch die Größe der Siliziumscheiben ("Wafer").<sup>19</sup>

Darüber hinaus produzierte die harte organisatorische Abschottung der beiden Unternehmensbereiche innerhalb des Massenproduktionsmodells zusätzliche Barrieren und erschwerte damit den Transfer: Die Prozeßent-

wickler interessierten sich weder vor noch nach Abschluß ihrer Entwicklungsarbeiten für die Belange der Produktion, der Prozess wurde von der Entwicklungsabteilung "einfach über die Mauer in die Produktion geworfen" (Prozeßentwickler, Fall B). Das Ergebnis bestand in Wissensverlusten bei der Einführung dieser Prozesse in die Fertigung.

"Wenn ein Prozeß in die Produktion transferiert wird, ist dort aufgrund der unterschiedlichen Fertigungsbedingungen nicht das gesamte, während der Entwicklung erworbene Wissen relevant. (...) Aber selbst im unwahrscheinlichen Fall, daß die Fertigungsbedingungen (inklusive der Produktionsvolumina) in der Entwicklungsfabrik und der Produktionsstätte identisch sind, geht im Transfer von der einen Beschäftigtengruppe zur nächsten Wissen verloren" (Hatch/Mowery 1994, S. 14 f.). Bei diesem Wissen handelt es sich - wie Hatch/Mowery es ausdrücken - um "*tacit knowledge*", also um "verstecktes", den Wissensträgern nicht unbedingt explizit bewußtes, nicht ausformuliertes und nur schwer formalisierbares Erfahrungswissen.

In den letzten Jahren haben neue Innovationskonzepte diese Abschottung in verschiedener Weise nachhaltig aufgebrochen, ohne daß die Hersteller damit zum Pioniermodell zurückgekehrt wären.

#### 4.1. Integration von Prozeßentwicklung und Pilotfertigung

Eine Reihe von Unternehmen, die "Logik"-Chips (etwa Mikroprozessoren) in großen Stückzahlen herstellen, hat Ende der 80er/Anfang der 90er Jahre Entwicklungslinien neuen Typs aufgebaut, die Prozeßentwicklung und Volumenproduktion in neuartiger Weise kombinierten. Die Stoßrichtung dieser Reorganisation besteht in einer neuen Balance zwischen Rigidität (im Sinne harter Grenzziehungen) und Flexibilität (im Sinne einer Verflüssigung von Grenzen).

*Rigidität* insofern, als auch die Entwicklungslinien neuen Typs der Entkopplung von (Prozeß)entwicklung und (Massen)produktion dienen. Ähnlich wie in den klassischen Entwicklungseinrichtungen haben die Betriebe hier ihre Prozeßentwicklung gebündelt, die gro-

<sup>19</sup> Die technische Entwicklung in der Halbleiterfertigung führt nicht nur zu immer geringeren Strukturbreiten der Bauelemente. Gleichzeitig erhöhen die Betriebe den Durchmesser der Siliziumscheiben ("Wafer"), um bei identischer Zahl der Prozeßschritte und identischer Durchlaufzeit eine größere Anzahl an Bauelementen zu erhalten. Häufig verwenden die Betriebe Maschinen und Anlagen der neuesten Generation (mit dem größten Wafer-Durchmesser) zuerst in ihren Produktionsbetrieben ("volume fabs"), während die Entwicklungslinien noch mit den geringeren Wafer-Durchmessern arbeiten.

ßen Stückzahlen hingegen werden in separaten Produktionsbetrieben gefertigt, in denen dann über einen längeren Zeitraum mehrere Millionen Bauelemente pro Jahr mit mehr oder minder unveränderten Prozessen gefertigt werden; die Prozesse sind während dieser Phase "eingefroren" und dürfen von der Fertigung nicht eigenmächtig modifiziert werden. In einigen Fällen bedeutet die Einrichtung integrierter Entwicklungslinien sogar eine Rigidisierung, weil die Hersteller, wie der von uns untersuchte Fall C, in der Vorsituation über keine separaten Entwicklungseinrichtungen verfügten und die Prozeßentwicklung nun erst aus der Produktion verbannt haben. Diese Abspaltung verfolgt das Ziel, den Transfer neuer Prozesse in die Fertigung besser als in der Vergangenheit vorzubereiten. "Die Fertigung soll sich auf die effiziente Großserienproduktion konzentrieren und sich nicht damit rumschlagen, Prozeß- oder Anlagenprobleme zu lösen, die man auch in der Prozeßentwicklung lösen könnte" (Vice President "Technology").

Der Hintergrund für diesen Ansatz liegt in der mittlerweile verbreiteten Erkenntnis, daß auch der bestorganisierte Inkrementalismus in der Fertigung unzureichend ist, wenn die Implementation neuer Prozesse auf einem vergleichsweise schlechten Ausgangsniveau in bezug auf die Fertigungsausbeute startet. Dies gilt insbesondere für die komplexesten Prozesse mit den niedrigsten Strukturbreiten. Brisant ist daran vor allem, daß dieser Anfangsvorsprung auch durch ein hohes Tempo inkrementeller Verbesserungen über einen längeren Zeitraum nicht wettzumachen ist. "Die Fabriken mit einem schlechten Start weisen zwar das höchste Lerntempo auf. Sie sind aber - zumindest auf einige Jahre hinaus - bei weitem nicht schnell genug, um jene mit einem guten Start zu überholen" (Leachman 1994, S. 4). lautet entsprechend auch ein zentraler Befund des "Competitive Semiconductor Manufacturing Project".

*Flexibilität* insofern, als die integrierten Entwicklungslinien einen Teil des traditionellen Transferproblems dadurch lösen, daß sie die Grenze zwischen Labor und Fabrik, zwischen Klein- und Großserie verflüssigen. Die Entwicklungslinien neuen Typs sind größer als die tra-

ditionellen Entwicklungsbereiche, ihr Layout ähnelt dem eines Produktionsbetriebs (mit mehreren Maschinen und Anlagen des gleichen Typs pro Prozeßschritt), und sie sind *auch* auf Kapazitätsauslastung und Durchsatz hin ausgerichtet. Die integrierten Entwicklungslinien simulieren weitestgehend die Bedingungen der Großserienfertigung, die Entwicklung neuer Prozesse kann die Gegebenheiten der späteren Umgebung bereits vor dem eigentlichen Transfer sehr viel besser berücksichtigen. Im Transfer entstehende Wissensverluste sowie der erforderliche Anpassungs- und Modifikationsbedarf werden reduziert.

Die integrierten Entwicklungslinien dienen nicht nur der Lösung des Transferproblems, sondern die reguläre Produktion innerhalb dieser Linien (die einwandfreien Bauelemente der Linien werden ganz normal verkauft) soll verhindern, daß die immer kostenträchtigeren Fertigungsanlagen den Kapitalaufwand für die Prozeßentwicklung weiter in die Höhe schrauben. Darüber hinaus gewährleistet die Produktionsleistung der integrierten Entwicklungslinien die frühzeitige Lieferung größerer Stückzahlen der jeweils avanciertesten Halbleiter. Dieser neue Lösungsansatz für das Innovationsproblem in der Halbleiterfertigung trägt damit vor allem den Bedingungen von technisch avancierten Logik-Chips Rechnung, die in großen Stückzahlen gefertigt werden. In diesen Fällen ist es für erfolgreiche Innovationen wichtig, mit größeren Mengen (aber nicht mit Millionen-Stückzahlen) frühzeitig auf dem Markt vertreten zu sein, um Standards zu setzen und die Produktentwickler der Abnehmer zu beliefern; erst in einem zweiten Schritt wird die Fähigkeit zur Massenproduktion entscheidend.

Bei aller Verflüssigung der Grenzen zwischen Labor- und Großserienfertigung: Auch den integrierten Entwicklungslinien liegt der Ansatz zugrunde, neue Prozesse *vor* ihrer Einführung in die Massenproduktion so weit es geht zu Ende zu entwickeln. Anders formuliert: Die Abschottung zwischen Fertigung und Entwicklung im alten Massenproduktionsmodell wird durchbrochen, aber die Folgen dieses Bruchs werden gleichsam organisatorisch eingegrenzt. Die integrierte Entwicklungslinie

ist der Ort, an dem entwickelt und modifiziert wird. Das Ziel besteht darin, bei der Einführung neuer Prozesse in der Fertigung von Beginn an hohe Ausbeuteraten zu erzielen und die - stets notwendige - Optimierung der Abläufe zur Steigerung von Fertigungsausbeuten nach dem Start der Serienproduktion zu beschränken.

#### **4.2. Von der "Determinierung" zur "Aushandlung" - die veränderte Rolle der Prozeßentwicklung**

Die Einführung integrierter Entwicklungslinien ist vielleicht das spektakulärste, aber nicht das einzige Beispiel für Veränderungen im Verhältnis von (Prozeß)entwicklung und (Serien)produktion bei den US-Halbleiterherstellern. Ganz generell zielen die Konzepte für die Einführung neuer Prozesse in die Produktion seit Mitte der 80er Jahre darauf, die Differenz zwischen dem Neuen und dem bereits Erprobten möglichst klein zu halten. War es bis in die 80er Jahre ein Markenzeichen der US-Hersteller, radikale Produkt- in Gestalt radikaler Prozeßinnovationen auf die Fertigung durchschlagen zu lassen, so lautet die Schlußfolgerung aus der Konfrontation mit den - vergleichsweise "konservativen" - Innovationskonzepten japanischer Hersteller: Die - angesichts einer auf design-intensive Produkte orientierten Unternehmensstrategie unabdingbare - Fähigkeit der Betriebe auch zu radikalen *Produktinnovationen* soll möglichst keine ebensolchen Entwicklungssprünge auf der *Prozeßseite* nach sich ziehen. Denn je größer die Entwicklungssprünge in den Fertigungsprozessen ausfallen, desto gravierender stellt sich das Implementationsproblem, desto größer sind die Wissensverluste beim Transfer von der Entwicklung in die Fertigung und desto umfangreicher und zeitraubender ist dort der Anpassungsbedarf neuer Prozesse.

Eine Konsequenz dieser Überlegungen besteht darin, die Zahl der zum selben Zeitpunkt variierten Parameter möglichst klein zu halten - anders formuliert: "große Sprünge" strategisch in "kleine Schritte" zu zerlegen. Sei es, daß die Betriebe versuchen, einen neuen Prozeß

nicht gleichzeitig mit einem neuen Produkt, sondern zunächst mit einem bereits erprobten Produkt-Design anlaufen zu lassen; sei es, daß man ein komplett neu errichtetes Werk tunlichst nicht mit einem neuen Prozeß startet und erst im zweiten Schritt den avancierten Prozeß einführt. Insoweit liegen Strategien der "kleinen Schritte" zwar neue Kalküle zugrunde, aber es können durchaus von der Fertigung abgeschottete Akteure sein, welche diese Kalküle in ihren Planungen berücksichtigen. Zum Teil ist allerdings ein verändertes Verhältnis zwischen Prozeßentwicklung und Fertigung eine Voraussetzung für die Vermeidung "großer Sprünge".

Vor allem Hersteller, die eine breite Palette von Logik-Chips produzieren (wie die von uns untersuchten Fälle A und B), arbeiten in ihren Produktionsstätten mit einer Vielfalt unterschiedlicher Prozesse innerhalb einer Fertigungslinie. In diesen Fällen können auch für neue Prozesse in der Regel vorhandene Maschinen und Anlagen sowie bereits erprobte Fertigungsschritte und Prozeßparameter verwendet werden. Genauer gesagt: Je mehr an Vorhandenem genutzt werden kann, desto geringer fällt der Veränderungsbedarf aus und desto geringer ist das Transferproblem. Die Strategie dieser Hersteller zielt nun darauf ab, die Gegebenheiten der Fertigung rechtzeitig und nachdrücklich bei der Prozeßentwicklung ins Spiel bringen. Im Fall B versucht der Betrieb etwa, in Form von "frühen Partnerschaften" - "early partnerships" - möglichst frühzeitig ein enges Verhältnis zwischen Prozeßentwicklung und späterem Fertigungsbetrieb zu formalisieren; Ausdruck dieser "early partnerships" sind beispielsweise gemeinsame Planungstreffen zwischen Entwicklung und Fertigung. Dadurch soll sichergestellt werden, daß die Prozeßingenieure nicht an den Gegebenheiten der Fertigung "vorbeientwickeln" (d.h. Prozesse entwickeln, die zwar im Labor gute Ergebnisse zeigen, aber nur mit großem Anpassungsaufwand unter den Bedingungen der Großserienproduktion etabliert werden können).

Das in unserem Zusammenhang Interessante daran ist: Die gemeinsame Planung geht nicht in gegenseitigem Informationsaustausch auf, vielmehr kommt es zu regel-

rechten *Aushandlungsprozessen zwischen Fertigung und Prozeßentwicklung*. Etwas stilisiert geht es in diesem Aushandlungsprozeß darum, wie die Lasten bei der Einführung neuer Prozesse zwischen Entwicklung und Fertigung verteilt werden. Das Interesse der Fertigung zielt typischerweise auf minimale technologische Änderungen bei der Einführung neuer Prozesse (wenig Neuananschaffungen von Maschinen und Anlagen usw.). Das Interesse der Prozeßentwicklung zielt hingegen auf die Gewährleistung idealer Bedingungen für den neu entwickelten Prozeß; im Zweifelsfall werden damit eine Reihe von Anforderungen an die Fertigung gestellt (bessere Reinräume, Anlagen mit größerer Fertigungspräzision, Prozeßstoffe mit höheren Reinheitsgraden usw.). Nur ein kleiner Teil dieser "Wunschliste" ist jedoch - auch aus Sicht der Entwickler - tatsächlich unabdingbar. Ein Teil von Veränderungen in der Fertigung ist unter Umständen dann entbehrlich, wenn die Entwickler den neuen Prozeß besser auf die vorhandenen Ausstattungen und die bereits laufenden Prozesse zuschneiden. Im Zweifelsfall bedeuten weniger Veränderung in der Fertigung damit Zusatzarbeit für die Prozeßentwicklung; setzt sich hingegen die Prozeßentwicklung durch, steigt der Bedarf an Anpassungen und Modifikationen in der Fertigung ebenso wie der Transferaufwand.

### **4.3. Wissenstransfer durch personelle Überlappung von Entwicklung und Fertigung**

Wie gut es den Halbleiterherstellern durch Veränderungen im Vorfeld des Transfers auch immer gelingt, die Differenz zwischen Neuem und Altem, zwischen Entwicklungs- und Fertigungsbereichen zu minimieren: Neue Prozesse können abgetrennt von der späteren Serienproduktion nicht wirklich "zu Ende" entwickelt werden. Anpassungen und Modifikationen innerhalb der Fertigung lassen sich nicht gänzlich vermeiden. Das Transferproblem bleibt im Grundsatz bestehen: Im Vorgang der Prozeßentwicklung wird in den Entwicklungseinrichtungen Wissen generiert, das auch in der Fertigung für die Implementation und das An- und Hochfah-

ren des neuen Prozesses benötigt wird und das - da es sich um schwer formalisierbares Erfahrungswissen handelt - im Transfer verloren zu gehen droht.

Die Hersteller versuchen, diese mit dem Transfer verbundenen Wissensverluste durch eine größere personelle Überlappung zwischen Entwicklung und Fertigung zu reduzieren. Daß es hierbei einen generellen Trend zu "more human transfer" gebe, in diesem Punkt waren sich unsere Gesprächspartner in den Unternehmen wie auch beim "Competitive Semiconductor Manufacturing Project" einig. Personaltransfer findet dabei in beide Richtungen statt. Zum einen entsenden die Hersteller häufig vor Beginn des Transfers neuer Prozesse Ingenieure und Techniker (teilweise auch "operators" - einfache Arbeiter) aus der Fertigung in die Entwicklungsabteilung, damit diese sich in den neu entwickelten Prozeß einarbeiten. Das Ziel besteht darin, das dort vorhandene Wissen möglichst weitgehend aufzunehmen, um es dann als Personen - zusammen mit dem Prozeß - in die Fertigung zu transferieren. Zum andern begleiten Beschäftigte aus der Prozeßentwicklung den transferierten Prozeß für einen längeren Zeitraum in der Fertigung, um die in der Prozeßentwicklung gesammelten Erfahrungen dort einzubringen und zur Lösung von Anpassungs- und Modifikationsproblemen beizutragen.

Die Versuche, Erfahrungswissen der Entwicklungsabteilungen zu mobilisieren und transferierbar zu machen, haben eine unterschiedliche Reichweite. Betriebliche Transferstrategien variieren dabei in Abhängigkeit vom Ausmaß des Transferproblems sowie der Rolle, welche die Prozeßentwicklung innerhalb des Transfers spielt (vgl. oben 4.2.). In einigen Fällen werden Prozeßentwickler für den gesamten Zeitraum des Anlaufs neuer Prozesse der Fertigung fest zugeordnet. In anderen Fällen werden sie je nach Problemlage hinzugezogen.

Während in den oben beschriebenen Fällen versucht wird, Wissen in Form von Personen zu transferieren, reicht der Ansatz im Fall des Halbleiterherstellers B weiter: Mit Transfererteams wird hier versucht, die Kluft zwischen Entwicklung und Fertigung in institutionali-



sierter Form zu überbrücken. Diese Teams werden bereits im Vorfeld des Transfers etabliert und bestehen bis zum Erreichen zuvor festgelegter Ausbeuteraten in der Fertigung. In den Teams wird das Wissen über den neuen Prozeß (sowie über offene oder erwartbar kritische Punkte seiner weiteren Entwicklung) mit dem Wissen um die besonderen Verhältnisse in der Fertigung sowie mit Erfahrungen aus früheren Transfers zusammengebracht. Auf der Basis dieses so zusammengefaßten Wissens- und Erfahrungsschatzes koordiniert und steuert das Team den Transfer während des gesamten Zeitraums. Seine Aufgabe besteht eher darin, die im Transfer auftretenden Probleme zu antizipieren und ihre Lösung zu organisieren als diese Problem selbst zu lösen. Darüber hinaus werden die beim Anfahren des neuen Prozesses gewonnenen Erfahrungen dokumentiert; diese fließen damit auch in die Prozeßentwicklung zurück. Mit Hilfe der Teams versuchen die Hersteller die Transferzeit zu verkürzen. Im (Erfolgs-)Fall eines besonders komplizierten Prozeßtransfers ("one of the most complex technologies in the whole company") gelang es etwa dem Unternehmen B, die Transferzeit von unter "Normalbedingungen" zu veranschlagenden zwei Jahren auf ungefähr ein Jahr zu reduzieren.

#### **4.4. Neue Innovationskonzepte und Veränderung der Arbeitsorganisation**

Die neuen Innovationskonzepte der US-Halbleiterhersteller zielen darauf ab, so unser Argument, den Alltag in der Fertigung möglichst von den mit der Einführung neuer Prozesse in die Massenproduktion verbundenen Entwicklungs-, Anpassungs- und Modifikationsaufgaben freizuhalten. Organisatorische Rigiditäten, wie die Abspaltung der Prozeßentwicklung und das "Einfrieren" von Prozessen nach ihrem erfolgreichen Transfer, sollen eine ungestörte Massenproduktion gewährleisten. Die für eine möglichst rasche Realisierung von Prozeßinnovationen erforderliche Flexibilität wird anderweitig bereitgestellt (in Form von integrierten Entwicklungslinien und Transfer-Teams). Insoweit hat es zunächst den Anschein, als blieben die neuen Formen der Organisation

von Innovationsprozessen - bei allen sonstigen Veränderungen - in einer Hinsicht den Traditionslinien der US-Elektronikindustrie verhaftet: Die Neuerungen konzentrieren sich auf das Aufgabenfeld von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren in Forschungs- und Entwicklungsfunktionen - ob diese nun in separaten Funktionsbereichen oder innerhalb der Produktionsbetriebe angesiedelt sind. Demgegenüber stellen die Produktions- und Arbeitsorganisation, der Arbeits- und Qualifikationseinsatz auf dem shop floor vernachlässigte Dimensionen betrieblicher Strategien dar. "Traditionell wurde der Arbeitsorganisation wenig Aufmerksamkeit gewidmet" (Vincent Valvano).

Unsere bisherigen Ergebnisse deuten darauf hin, daß sich das traditionelle Bild der US-Halbleiterhersteller auch in dieser Dimension verändert. Allerdings erfährt diese Dimension betrieblicher Reorganisation in der wissenschaftlichen wie der öffentlichen Diskussion sehr viel weniger Aufmerksamkeit.<sup>20</sup> Die folgenden Überlegungen sind daher eher tentativ und darauf ausgerichtet, unterschiedliche Indizien zu bündeln.

Traditionell war die Arbeitsorganisation in der US-Halbleiterfertigung durch die Arbeitsteilung zwischen "operators", "technicians", "supervisors" und "engineers" gekennzeichnet. Die mit den unmittelbaren Produktionsaufgaben (Maschinenbedienung, Materialtransport usw.) befaßten "operators" waren in der Regel un- und angeleitete, zu einem großen Teil weibliche Arbeitskräfte. Während die "technicians" vor allem mit Instandhaltungsaufgaben befaßt waren, konzentrierten sich die Kompetenzen zur Lösung von Prozeßproblemen innerhalb der Fertigung auf die "engineers". Dieses starre Schema ist vor allem durch zwei Faktoren in Bewegung geraten.

---

20 So finden Untersuchungen zur Arbeitsorganisation innerhalb des Verbundes des "Competitive Semiconductor Manufacturing Survey" lediglich ergänzend zur von Ingenieurs- und Wirtschaftswissenschaftlern durchgeführten Hauptstudie statt. Zudem wurden diese Untersuchungen später als das Hauptprojekt gestartet, und die bislang vorliegenden Ergebnisse beruhen nur auf einem kleinen Sample.

*Erstens* konnten sich auch die Hersteller design-intensiver Produkte die notorische Vernachlässigung von Qualität und Fertigungsausbeuten seit Mitte der 80er Jahre nicht mehr leisten - "Qualitätsverbesserung wurde zu einer Überlebensfrage" (Director "Quality Systems", Fall B). Die Hersteller starteten daher zum Teil ausgesprochen ehrgeizige Programme, die sich auf die Verbesserung von Fertigungsqualität und -ausbeuten richteten. Einige Halbleiterproduzenten - wie etwa Motorola mit seinem 6-sigma-Konzept - spielten Ende der 80er/Anfang der 90er Jahre diesbezüglich sogar eine Vorreiterrolle innerhalb der US-Industrie. Präzise Daten über die Entwicklung der Ausbeuten sind zwar gut gehütete Unternehmensgeheimnisse. Aber die - allerdings sehr sporadischen - Daten in der Literatur zeigen, daß die US-Hersteller ihr Niveau seit Mitte der 80er Jahre signifikant verbessert haben (Angel 1994, S. 19 f.). Im übrigen herrscht diesbezüglich eine breite Übereinstimmung bei unseren Gesprächspartnern in den Betrieben wie in einschlägigen Beratungsfirmen (Dataquest, VLSI-Research).

Hierzu hat ein ganzes Bündel unterschiedlicher Maßnahmen beigetragen: Von der Einführung statistischer Prozeßkontrolle über Qualitätskampagnen, die sich organisatorisch in der Einrichtung diverser Teams ("manufacturing councils", "problem solving teams" usw.) niederschlugen, bis hin zur Veränderung der Rekrutierungsstrategien und umfangreichen Programmen betrieblicher Weiterbildung. Die Realisierung dieses Maßnahmenbündels tangierte die traditionelle Arbeitsorganisation und setzte zumindest partiell eine Veränderung von Aufgabenzuschnitten und Qualifikationsprofilen in Gang. Was die Reichweite dieser Reorganisation auf dem shop floor angeht, zeigt sich Mitte der 90er Jahre allerdings ein ausgesprochen differenziertes Bild. Auch die Spannweite der Lösungen innerhalb der vom "Competitive Semiconductor Manufacturing Project" untersuchten Halbleiterwerke ist beachtlich.

"Die Aufgabe eines Operators ist es, Wafer-Lose durch die verschiedenen Stufen des Fertigungsprozesses durchzuschleusen. In manchen Fabriken war dies nach unseren Beobachtungen die einzige Tätigkeit der Operator; in anderen - könnte man sagen - war es noch die

unwichtigste ihrer Aufgaben. In diesen Fällen werden Operator über das Wafer-Prozessieren hinaus teilweise stark in die Überwachung der Fertigungsprozesse eingebunden und haben die Aufgabe, auftretende Unregelmäßigkeiten zu erkennen und auf sie zu reagieren. In einigen wenigen Fabriken haben wir sogar Operator beobachtet, die von ihren fachlichen Kenntnissen her auch in der Lage waren, Ursachen von Problemen wie hohen Defektraten oder niedrigen Linienausbeuten zu erkennen und Lösungen zu finden" (Valvano 1994, S. 13).

Ein breiteres Aufgabenprofil bei den "operators" korrespondiert dabei mit einer komplementären Aufwertung der Tätigkeiten bei den "technicians" und "engineers": Je stärker Routinefunktionen nach unten integriert werden, desto mehr konzentrieren sich die Aufgabenzuschnitte bei "technicians" und "engineers" auf die fachlichen Kerne (Saeed/Valvano 1994; Appleyard/Edulbehram 1994).

Man darf die Reichweite dieser Aufgabenintegration - insbesondere bei den "operators" - nicht überinterpretieren; die Begriffe lösen im Kontext der deutschen Diskussion über Arbeitsorganisation leicht überschießende Assoziationen aus. Selbst in avancierten Fällen - dies ergaben unsere Gespräche mit dem CSM-Projektteam - blieben die Qualifikationen von "operators" unterhalb des Niveaus fachlich qualifizierter Arbeit. Und die Aufgabe des "Problemlösens" konzentriert sich - neben den "engineers" - auf die oberen Ränge der "technicians". Wichtig in unserem Zusammenhang ist, daß das Ausmaß dieser Veränderung - und damit die Ursache für die breite Streuung unterschiedlicher Lösungen - mit einem *zweiten Faktor* in Verbindung zu stehen scheint, nämlich der veränderten Innovationsproblematik. So lautet auch eine Arbeitshypothese des CSM-Projektes, daß sich traditionelle arbeitsorganisatorische Lösungen vorwiegend in jenen Werken finden, die mit eingefahrenen und vergleichsweise "einfachen" Prozesse (im Sinne geringer [technischer] Integrationsdichten) operieren. Demgegenüber scheint der Anreiz zu Qualifizierung und Aufgabenintegration mit der Komplexität der Prozesse und der Bedeutung von Prozeßinnovationen zu steigen. Gewiß, gegenwärtig handelt es sich diesbezüglich eher um Hypothesen denn um gesicherte Ergebnisse. Aller-

dings weisen unsere eigenen Befunde in diese Richtung.<sup>21</sup>

Innerhalb der drei von uns untersuchten Betriebe weicht die Arbeitsorganisation im Fall des Mikroprozessorherstellers C am weitesten vom traditionellen Muster ab; d.h. derjenige Hersteller verfolgt das avancierteste Arbeitseinsatzkonzept, bei dem sich die Verbindung von Prozeßinnovationsproblematik mit einer besonders anspruchsvollen, avancierten Technologie am härtesten stellt. In der - oben bereits erwähnten - integrierten Entwicklungslinie verzichtet C bereits seit Anfang der 90er Jahre vollständig auf die Kategorie des "operators". "Technicians", in deren Aufgabenzuschnitt Routineinstandhaltung und die Prozeßverantwortung integriert sind, bilden hier das unterste Qualifikationsniveau innerhalb der Entwicklungslinie neuen Typs. C bewertet die Erfahrungen mit diesem neuen Modell positiv und plant, das Konzept auf eine neu anlaufende Fertigungsstätte zu übertragen.

Für uns ist gegenwärtig offen, wie weitreichend die traditionellen Muster rigider Arbeitsteilung und unqualifizierter Produktionsarbeit durch diese neuen Konzepte durchbrochen werden. Offen ist auch, welche Breite dieser arbeitsorganisatorische Richtungswechsel innerhalb der US-Halbleiterindustrie einnimmt. Dennoch deuten die vorliegenden Informationen darauf hin, daß die neuen Innovationskonzepte der US-Hersteller, die auf eine Verschiebung der Innovationsproblematik in dieser Branche reagieren, sich nicht nur auf die (massen)produktionsvorgelagerten Betriebs- und Unternehmensbereiche auswirken, sondern bis auf die Ebene des shop floor durchschlagen.

## 5. Neuer Trend in der zweiten Hälfte der 90er Jahre?

Die US-Hersteller haben auf die "japanische Herausforderung" mit Unternehmensstrategien reagiert, die ihre

traditionellen Stärken (vor allem das Produktdesign) erfolgreich reaktiviert haben. Mit der "Wende zur Spezialisierung" haben sich die US-Hersteller erfolgreich jener Innovationsproblematik entzogen, mit der die Produzenten von DRAM-Speicherchips und anderen "commodities" konfrontiert sind. Auf die für design-intensive Produkte seit den 80er Jahren typische - vom Zwang zur raschen Amortisation rapide steigender Vorleistungen geprägte - Innovationsproblematik haben sie schließlich mit Innovationskonzepten reagiert, die ein neues Verhältnis von (Prozeß)entwicklung und (Massen)produktion, eine neue Balance zwischen Rigiditäten und Flexibilitäten zum Ergebnis hatten. Die Frage ist, ob diese Antworten der US-Hersteller auch für den Rest der 90er Jahre Bestand haben werden oder ob sich nicht möglicherweise die Innovationsproblematik erneut in folgenreicher Weise verschieben könnte.

Gegenwärtig verzeichnet die Halbleiterindustrie weltweit einen Boom, der hinsichtlich seiner Dauer und Dynamik für viele unerwartet verläuft. Das Wachstum hält - in der in früheren Zeiten für ihre kurzen Zyklen bekannten Branche - nunmehr bereits seit fünf Jahren auf hohem Niveau an und hat sich 1994 und 1995 nochmals beschleunigt; Prognosen gehen sogar von einer weiteren Verdopplung der Halbleiterproduktion innerhalb der nächsten fünf Jahre aus (vgl. Schaubild 4). Die Triebkräfte hierfür liegen zum einen im beschleunigten Wachstum wichtiger Anwendungsmärkte (vor allem der PCs, aber auch der Mobilkommunikation). Zum anderen ist der Anteil von Halbleiterbauelementen an den Kosten elektronischer Endgeräte in den letzten Jahren signifikant gestiegen. Das heißt bereits ein gleichbleibendes Umsatzvolumen bei elektronischen Endgeräten beschert den Halbleiterproduzenten Zuwächse.

Weil dieses anhaltende Wachstum die Hersteller unerwartet traf, mehren sich seit ein bis zwei Jahren die Knappheitssymptome. In zahlreichen Marktsegmenten übersteigt die Nachfrage das Angebot, der übliche Preisverfall hat sich abgeflacht, und im Gegenzug steigen die Gewinnmargen. Unter diesen Bedingungen er-

21 Dem CSM-Projektteam, das sich mit Fragen der Arbeitsorganisation befaßt, fehlen bislang gerade die innovationsintensiven Fabriken im Sample.

scheint einigen US-Herstellern selbst die Mitte der 80er Jahre aufgegebene Fertigung von DRAM-Speicherchips wieder attraktiv. Die ungewohnte Dynamik hat darüber hinaus einen Investitionsboom ausgelöst. Laut Dataquest sind die jährlichen Investitionen der Halbleiterindustrie von gut \$ 10 Mrd. Anfang der 90er Jahre auf knapp \$ 35 Mrd. in 1995 gestiegen und werden in der zweiten Hälfte der 90er Jahre bei über \$ 40 Mrd. liegen. Industriebeobachter rechnen damit, daß in den nächsten fünf Jahren weltweit rund 100 neue Halbleiterfabriken gebaut werden, davon etwa 30 in Nordamerika.<sup>22</sup>

Die US-Hersteller verstärken in diesem Zusammenhang den Trend, Produktionsbetriebe außerhalb von "Silicon Valley" zu lokalisieren, d.h. außerhalb jener regionalen

Agglomeration, welche die Pionierphase dieser Branche entscheidend geprägt hat. Neue Werke werden in anderen Regionen der USA errichtet. Die Standorte bündeln sich zwar zum Teil in neuen regionalen Agglomerationen, wie etwa in Austin (Texas), Portland (Oregon) oder Phoenix (Arizona). Und zum Teil sind in diesen räumlichen Clustern neben den reinen Produktionswerken auch Forschungs- und Entwicklungsfunktionen angesiedelt. Allerdings erreicht bislang keine dieser Agglomerationen eine ähnliche regionale Bündelung von Forschung, Entwicklung und Produktion wie das "Silicon Valley". Generell verstärkt daher die Abwanderung der US-Hersteller aus Kalifornien die räumliche Abkopplung von (Prozeß)entwicklung und (Massen)produktion.

Für diese räumliche Abkopplung wären die US-Hersteller mit ihren Innovationskonzepten im Grunde gut gewappnet - wenn sich sonst nichts änderte. Genau dies

---

22 In absoluten Zahlen sind dies sogar weniger als zwischen Mitte der 80er und Mitte der 90er Jahre, allerdings werden die neuen Fabriken auch immer größer (und kapitalaufwendiger).

scheint aber der Fall zu sein. So haben sich bei den Mikroprozessoren, die gerade für die US-Hersteller ein wichtiges Marktsegment ausmachen, die Innovationszyklen - für Produkte wie für die zur Realisierung erforderlichen Prozesse - nochmals verkürzt.<sup>23</sup> Offen ist auch, inwieweit das beschleunigte Vordringen von Halbleitern in neue Anwendungsbereiche eine sehr viel größere Zahl von Anbietern dem Druck aussetzt, neue Prozesse in kürzerer Zeit zu entwickeln und zu transferieren, wenn sie die sich dort gegenwärtig bietenden Wachstumschancen ausnutzen wollen. Trägt also möglicherweise gerade der Erfolg der US-Hersteller dazu bei, daß sich die Innovationsproblematik nochmals verschiebt? Und zwar in einer Weise, daß auch für Hersteller design-intensiver Produkte der Zeitfaktor bei der Realisierung von Prozeßinnovationen einen noch höheren Stellenwert für die Unternehmensstrategien bekommt als in der Vergangenheit? Weitergefragt: Wären die organisatorischen Antworten der US-Hersteller unter diesen Bedingungen auch in Zukunft noch adäquat?

Unsere Vermutungen gehen dahin, daß der - in den letzten zehn Jahren offenbar erfolgreiche - Versuch, die Fertigung möglichst weitgehend von Aufgaben der Prozeßentwicklung freizuhalten, in Schwierigkeiten gerät. Die Alternative ist sicherlich nicht der Weg zurück zum Pioniermodell. Aber die Betriebe könnten dazu übergehen, neue Prozesse zu einem früheren Zeitpunkt als bislang in die Fertigung zu transferieren, zu einem Zeitpunkt also, zu dem sie noch nicht "zu Ende entwickelt" sind. Damit würde der innerhalb der Fertigung zu leistende Entwicklungs-, Anpassungs- und Optimierungsaufwand beträchtlich steigen. Anders formuliert: Möglicherweise werden sich die Grenzen zwischen (Prozeß)entwicklung und (Massen)produktion zukünftig weiter verflüssigen. Die Frage ist, wie die US-Hersteller auf diese neue Situation reagieren werden.

23 "Bei der Entwicklung neuer Architekturen oder Architektur-Generationen hat sich zweifellos ein höheres Tempo eingestellt. Der P6 folgt kaum zwei Jahre nach dem Pentium, die PowerPC-Allianz hat in dreieinhalb Jahren gar vier wichtige Architekturschritte vollzogen. Ähnliches gilt für DEC's Alpha oder für die Mips-Welt" (Markt & Technik, 34/95, S. 17).

## Literaturverzeichnis

- Angel, D. (1994): *Restructuring For Innovation. The Remaking of the U.S. Semiconductor Industry.* New York/London.
- Appleyard, M.; Edulbehram, J. (1994): *The Organization of Engineers and Fab Performance.* In: *The Competitive Semiconductor Manufacturing Human Resources Project: First Interim Report., Report CSM-09, Berkeley, S. 32-37.*
- Borrus, M. (1988): *Competing For Control. America's Stake in Microelectronics.* Cambridge, Massachusetts.
- Borrus, M.; Leachman, R. (1992): *The Competitive Semiconductor Manufacturing Survey: Results of the Pilot Phase., Report CSM-01. Berkeley.*
- Borrus, M.; Hatch, N.; Mowery, D. (1994): *Management of the Introduction of New Process Flows.* In: *The Competitive Semiconductor Manufacturing Survey: Second Report on Results of the Main Phase., Report CSM-08. Berkeley, S. 44-55.*
- Bowen, D. (1994): *Work Groups and Teams in Semiconductor Manufacturing: Structures, Practices and Performance.* In: *The Competitive Semiconductor Manufacturing Human Resources Project: First Interim Report, Report CSM-09. Berkeley, S. 38-50.*
- Brown, C. (1994): *Executive Summary.* In: *The Competitive Semiconductor Manufacturing Human Resources Project: First Interim Report., Report CSM-09. Berkeley, S. 1-7.*
- The Competitive Semiconductor Manufacturing Program (1993): *The Competitive Semiconductor Manufacturing Survey: First Results on Results of the Main Phase., Report CSM-02. Berkeley.*
- Dosi, G. (1982): *Technological Paradigms and Technological Trajectories. A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change.* In: *Research Policy 11, S. 147-162.*
- Dosi, G. (1984): *Technical Change and Industrial Transformation: the Theory and an Application to the Semiconductor Industry.* London.
- Ferguson, C.H. (1988): *From the People Who Brought You Voodoo Economics.* In: *Harvard Business Review, May-June, S. 55-63.*
- Florida, R.; Kenney, M. (1990): *The Breakthrough Illusion. Corporate America's Failure to Move from Innovation to Mass Production.* New York.
- Gilder, G. (1988): *The Revitalization of Everything: the Law of the Microcosm.* In: *Harvard Business Review, March-April, S. 49-61.*
- Grove, A. (1995): *High Output Management., 2. Auflage.* New York.
- Hatch, N.W.; Mowery, D. (1994): *Process Innovation and Learning by Doing in Semiconductor Manufacturing., Consortium on Competitiveness & Cooperation Working Paper No. 94-17. Berkeley.*

- Hayashi, A. (1988): The New Shell Game, in: *Electronic Business*, 1.3.1988, S. 36-40.
- Hilpert, H.G.; Ochel, W.; Penzkofer, H.; Reinhard, M. (1994): *Wirtschafts- und Technologiepolitik und ihre Auswirkung auf den internationalen Wettbewerb: Das Beispiel der Halbleiterindustrie*. Berlin/München.
- Hobday, M. (1990): *Semiconductors: Creative Destruction or US Industrial Decline?* In: *Futures* 22, S. 571-585.
- Honold, H. (1993): *Management von Zeit- und Kapazitätsstrategien im Markt für DRAM-Speicherbauelemente*. Frankfurt/Main u.a.
- Jelinek, M.; Schoonhoven, C. (1990): *The Innovation Marathon. Lessons from High Technology Firms*. Cambridge/Oxford.
- Kenney, M.; Florida, R. (1993): *Beyond Mass Production. The Japanese System and its Transfer to the U.S.*. New York.
- Leachman, R. (1994): *Executive Summary*. In: *The Competitive Semiconductor Manufacturing Survey: Second Report on Results of the Main Phase.*, Report CSM-08. Berkeley, S. 1-12.
- Malerba, F. (1985): *The Semiconductor Business. The Economics of Rapid Growth and Decline*. Madison, Wisconsin.
- Martin, J. (1992): *National Semiconductor Corporation*. In: Kepos, P. (Hrsg.): *International Directory of Company Histories*. Volume 6. Detroit u.a.
- Mowery, D.; Hatch, N.; Borrus, M.; Shuen, A. (1993): *Searching for Lean Production in Semiconductors: New Process Introduction.*, Consortium on Competitiveness & Cooperation Working Paper No. 93-5. Berkeley.
- Prestovitz, C.V. (1988): *Trading Places: How We Allowed Japan to Take the Lead*. New York.
- Saeed, B. (1994): *Relating Organization to Fab Performance*. In: *The Competitive Semiconductor Manufacturing Human Resources Project: First Interim Report.*, Report CSM-09, Berkeley, S. 51-55.
- Saeed, B.; Valvano, V. (1994): *Relating Technicians' Role to Fab Performance*. In: *The Competitive Semiconductor Manufacturing Human Resources Project: First Interim Report.*, Report CSM-09. Berkeley, S. 19-26.
- Saxenian, A. (1990): *Regional Networks and the Resurgence of Silicon Valley*. In: *California Management Review*, Fall 1990, S. 89-112.
- Saxenian, A. (1994): *Regional Advantage. Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. Cambridge/London.
- Valvano, V. (1994): *Measuring Operators' Impact on Fab Performance*. In: *The Competitive Semiconductor Manufacturing Human Resources Project: First Interim Report.*, Report CSM-09. Berkeley, S. 13-18.
- Voskamp, U.; Wittke, V. (1994): *Von "Silicon Valley" zur "virtuellen Integration" - Neue Formen der Organisation von Innovationsprozessen am Beispiel der Halbleiterindustrie*. In: Sydow, J.; Windeler, A. (Hrsg.): *Management interorganisationaler Beziehungen*. Opladen, S. 212-243.
- Welsch, J. (1990): *Mikroelektronikindustrie: "Grundstoffindustrie" des 21. Jahrhunderts*. In: *WSI-Mitteilungen* 43 (7), S. 451-461.
- Wittke, V. (1996): *Vertikale versus horizontale Desintegration. Zu unterschiedlichen Erosionsdynamiken des Großunternehmens im Prozeß industrieller Restrukturierung*. In: Clausen, L. (Hrsg.): *Gesellschaften im Umbruch. Verhandlungen des 27. Kongresses der Deutschen Gesellschaft für Soziologie in Halle an der Saale 1995*. Frankfurt/New York, S. 850-863.