Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 74 (1983)

Heft: 15

Artikel: Entwicklungstendenzen der Mikroelektronik und die Schweizer Industrie

Autor: Rüegg, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904840

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Entwicklungstendenzen der Mikroelektronik und die Schweizer Industrie

H. Rüegg

Es wird ein Überblick über Entwicklungstendenzen der Mikroelektronik gegeben im Hinblick auf Möglichkeiten der Schweizerischen Industrie. Er umfasst die Technologie, den Markt und die Produkte, kundenspezifische IC sowie die wirtschaftliche Herstellung.

Aperçu des tendances d'évolution de la micro-électronique et des possibilités de l'industrie suisse, en ce qui concerne la technologie, le marché et les produits, notamment les circuits intégrés spécifiques pour clients, ainsi que leur fabrication économique.

Dieser Aufsatz entspricht dem Vortrag «Trends für Produkte und Märkte und die Wirtschaftlichkeitsfrage des Produzenten» anlässlich der Tagung «Mikroelektronik und Schweizer Industrie» der IEEE-Sektion Schweiz vom 22. Februar 1983.

Adresse des Autors

Dr. *H. Rüegg*, Direktor, Faselec AG, Räffelstrasse 29, 8045 Zürich.

1. Technologietrends

Die nunmehr etwas über 20 Jahre alte Geschichte der integrierten Schaltungen (IC) ist ein typisches Beispiel einer von der Technologie getriebenen Entwicklung. In rascher Folge entstanden durch revolutionäre Durchbrüche abwechselnd mit evolutionären Phasen neue Produktionsmöglichkeiten, die den Anwendungsbereich der integrierten Schaltungen enorm rasch erweiterten. Verzögert wurde das entsprechende Marktwachstum jeweils höchstens durch kurze Phasen der Unschlüssigkeit darüber, mit welchen Produkten von den neuen technologischen Möglichkeiten am besten Gebrauch gemacht werden konnte.

Der Anfang der Entwicklung der IC-Technologie kann mit dem kommerziellen Erscheinen des Planartransistors im Jahre 1960 gleichgesetzt werden (Fig. 1). Für den Planartransistor benützte man schon damals das Siliziumdioxid als Dottierungsmaske, die thermische Diffusion von Fremdatomen zur Erzeugung der p-n-Übergänge und eine dünne Schicht aus Aluminium zur Kontaktierung, d.h. die wesentlichen Elemente einer heutigen integrierten Schaltung. Der Planartransistor kann deshalb als ein einfacher IC, bestehend aus einem Bipolar-Transistor, betrachtet werden. Ausgehend von diesem Anfangspunkt, wurde in der Folge die Technologie-Entwicklung durch drei Hauptkräfte angetrieben. Sie sind, in der Reihenfolge ihrer Wirksamkeit:

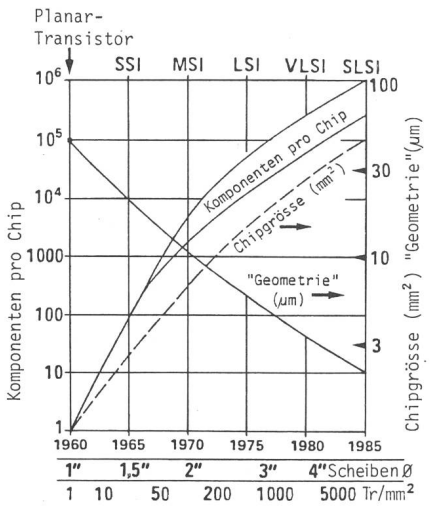

Fig. 1 Technologie-Entwicklungstendenzen

SSI Small-Scale Integration
MSI Medium-Scale Integration
LSI Large-Scale Integration
VLSI Very-Large-Scale Integration
SLSI Super-Large-Scale Integration
Tr Transistor

1. Reduktion der Strukturgrössen («Geometrie»)

Die kleinste Abmessung in einer integrierten Schaltung, z. B. die Breite einer Aluminiumbahn, ist zwischen 1960 und 1980 durch Fortschritte in der Fotolithografie und der Ätztechnik um etwa einen Faktor 10 gesunken. Es kann angenommen werden, dass durch die konsequente Verbesserung von heute bekannten Verfahren, d. h. der optischen Lithografie und der Plasma- und Ionenätzung, eine weitere Reduktion der Minimalabmessungen in die Grössenordnung von etwa 1,5 µm bis 1990 in normaler Produktion erreicht werden kann. Eine weitere Verkleinerung verlangt Elektronenstrahl-Belichtung, neue Erkenntnisse in der Optimierung der Elemente (Kurzkanal-Effekte usw.) und vermutlich neue Schaltungsideen.

2. Ausbeute

Besseres Grundmaterial, eine zunehmende Beherrschung der Grundprozesse (learning curve) und stark verbesserte Reinraumbedingungen erlaubten es, die Defektdichte einer integrierten Schaltung in diesen Jahren stark zu reduzieren, d. h. die Ausbeute für einen Chip mit einer bestimmten Fläche zu erhöhen. Aus wirtschaftlichen Gründen ist es jedoch für den Halbleiterhersteller nicht interessant, grosse Anstrengungen in eine Erhöhung der Ausbeute von z. B. 50% auf 80% zu stecken. Er wird deshalb eher die Komplexität erhöhen (z. B. bei

Speichern um einen Faktor 4), eine dadurch reduzierte Ausbeute in Kauf nehmen und diese wieder auf ein akzeptables Niveau bringen. Die Folge davon ist ein Ansteigen der wirtschaftlichen Chipgrösse von etwa 1 mm² (1960) auf etwa 20 mm² (1980). Auch dieser Trend scheint vorläufig an keine Grenzen zu stossen und dürfte sich in nächster Zukunft fortsetzen.

3. Scheibengrösse

Verbesserte Verfahren für die Kristallzüchtung, die Deposition, Diffusion und Fotolithografie erlaubten es, den Scheibendurchmesser von 1 auf 4 Zoll zu vergrössern. Da für verschiedene Prozesse die Anzahl bearbeiteter Scheiben kostenbestimmend ist, wurde dadurch eine starke Reduktion der Kosten pro bearbeitete Flächeneinheit erreicht. Auch dieser Trend dürfte in Zukunft weitergehen, wenn auch verlangsamt, da der Kostenvorteil durch eine Erhöhung des Scheibendurchmessers in Zukunft nicht mehr derart stark ins Gewicht fallen wird.

Die Reduktion der kleinsten Abmessungen und die Zunahme der Chipgrösse führten zu einer exponentiellen Zunahme der Anzahl Komponenten pro Chip um eine Dekade alle drei Jahre von 1960 bis etwa 1970. Das Wachstum flachte dann etwas ab auf eine Zunahme um eine Dekade etwa alle sieben Jahre (Fig. 1). Die obere Kurve von Figur 1 bezieht sich auf rein digitale Schaltungen und lässt erwarten, dass etwa 1985 eine Million Komponenten pro Chip in Produktion sein dürften, die tiefere Kurve gilt für die dichtesten Schaltungen mit analogen und digitalen Schaltungsteilen. Die Abflachung, die vor zehn Jahren noch nicht vorgesehen wurde, erklärt sich aus dem stark steigenden Investitionsbedarf, den sich ständig verlängernden Entwicklungszeiten sowie der erwähnten zeitweisen Unsicherheit über die Anwendungsmöglichkeiten der Technologie.

Die drei genannten Entwicklungstendenzen der Technologie ergaben die bekannte drastische Kostensenkung pro Funktionseinheit, wie sie besonders deutlich am Beispiel der Speicherschaltungen mit einer Reduktion der Kosten um einen Faktor 100 allein während der letzten 10 Jahre ersichtlich ist (Fig. 2).

Diese Kostensenkung wiederum führte zur Erschliessung neuer Märkte und zu einem überproportionalen Wachstum der Industrie. So erhöhte

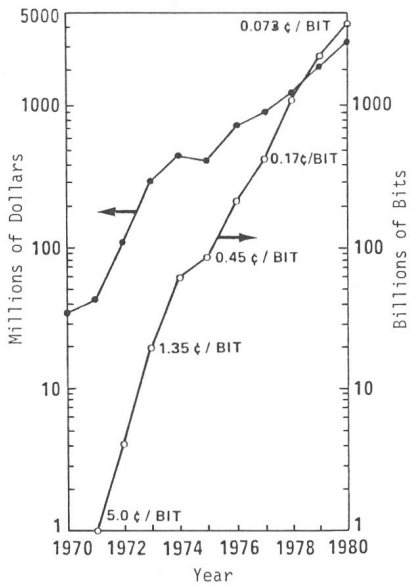

Fig. 2 Die Entwicklung des weltweiten Speichermarktes

(Quelle: Proc. IEEE, Dec. 1982)

sich der Anteil der Halbleiter am Elektronikmarkt während der letzten 30 Jahre von 0,04 auf 7%.

Während in den ersten zehn Jahren der IC-Geschichte die Bipolartechnologie eindeutig das Feld beherrschte, stieg in der Folge der Anteil der MOS-Technologie stark an. Er dürfte auch in Zukunft weiter steigen und 1990 etwa 60% erreichen (Fig. 3). Innerhalb der MOS-Technologie erwartet man eine weitere Zunahme der CMOS-Technologie hauptsächlich aus den folgenden Gründen:

- kleinster Leistungsbedarf
- tiefste Betriebsspannung
- höchster relativer Störabstand
- grosser Betriebsspannungsbereich
- wenig fehleranfällig im Design
- unempfindlicher gegen Alfapartikel als NMOS
- potentiell schneller als NMOS
- besser geeignet für analoge Funktionen als NMOS

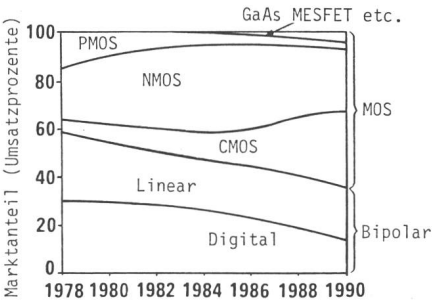

Fig. 3 Marktanteile der verschiedenen Technologien

(Quelle: ICE, Dez. 1982)

MOS Metal-Oxide Semiconductor
CMOS Complementary MOS
NMOS n-Channel MOS
PMOS p-Channel MOS
MESFET Metal-Schottky-Field-Effect Transistor

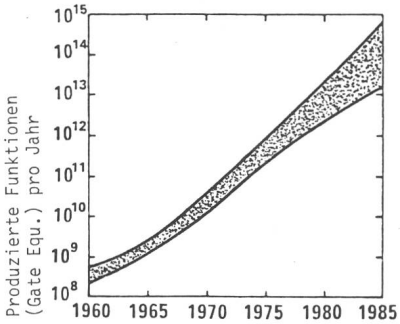

Fig. 4 Gordon-Moore-Trendkurve der produzierten Funktionen

Demgegenüber können mit der Bipolartechnik in Digitalschaltungen die höchsten Geschwindigkeiten erreicht werden. Diese eignet sich am besten für rein lineare Schaltungen. NMOS-Schaltungen werden dagegen auch in Zukunft die grösste Funktionsdichte erlauben.

Interessant ist ferner, dass trotz grossen Forschungsanstrengungen bis 1990 Nicht-Si-Technologien marktmässig voraussichtlich eine bescheidene Rolle spielen werden.

Die noch relativ junge technologische Entwicklung von elektrisch schreib- und löschbaren Speichern (EEPROMS), die nur in MOS-Technologie realisiert werden können, hilft mit, den Trend zu MOS zu verstärken. Es wird von dieser Möglichkeit in Zukunft nicht alleine in Speichern, sondern für die Programmierbarkeit und «Personifizierung» einer Vielzahl von IC Gebrauch gemacht werden.

2. Markttrends

Die bereits erwähnte rasche Entwicklung der technologischen Möglichkeiten zusammen mit der ständigen Steigerung der Produktionskapazitäten erhöhte die jährliche Produktionsmenge in den letzten 20 Jahren drastisch um einen Faktor von etwa 10^5 (Fig. 4). Eine Extrapolation des historischen Trends liess *Gordon Moore* (Intel) bereits 1978 die Frage stellen, wie die produzierten Funktionen in Zukunft angewendet werden sollen, müssten doch gemäss Extrapolation Ende dieses Dezenniums pro Erdenbewohner bereits 250 000 Gattereinheiten jährlich «konsumiert» werden. Trotz ständig neuen Anwendungsmöglichkeiten dürfte demnach auch diese Kurve, nicht zuletzt wegen fehlenden Entwicklern, in den nächsten Jahren flacher verlaufen.

Das Wachstum des Welt-IC-Marktes (Fig. 5) steht in engem Zusammenhang mit der starken Produktionssteigerung (Fig. 4) und der ständigen

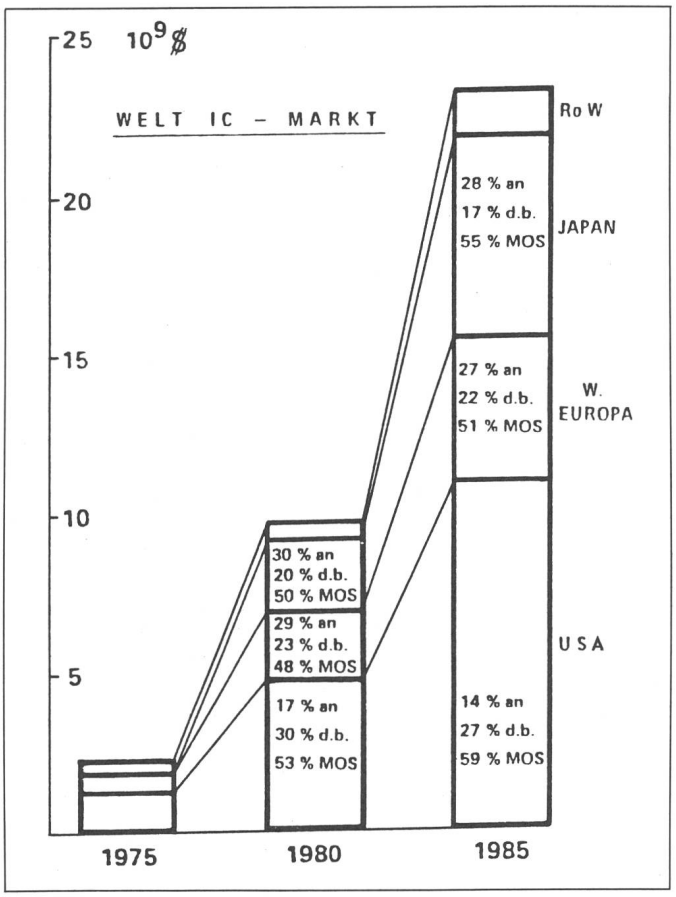

Fig. 5
Entwicklung des weltweiten IC-Marktes

An analog
d.b. digital bipolar
RoW übrige Welt (Rest of the World)

Preissenkung (Fig. 2). Dabei werden die USA als Pioniermarkt auch in Zukunft der grösste Einzelmarkt bleiben und 1985 einen Wert von etwa 12 Mia $ erreichen. Der japanische Markt ist während den letzten Jahren überproportional gewachsen; es wird angenommen, dass dieser Trend auch in den nächsten Jahren, hauptsächlich auf Kosten von Europa, anhalten wird. Für die übrige Welt (RoW) wird auch in den nächsten Jahren mit einem bescheidenen Marktwachstum gerechnet. Bei den Zahlen von Figur 5 ist festzuhalten, dass im Anteil der USA sich etwa ⅓ auf den geschlossenen Markt (captive) bezieht, vor allem dominiert durch die Firmen IBM und AT&T.

Tabelle I zeigt, dass im heutigen Zeitpunkt die USA und Japan mehr IC produzieren als konsumieren, währenddem Europa weniger als die Hälfte seines Bedarfs selbst produziert. Das Verhältnis von Produktion zu Verbrauch hat für Japan einen steigenden, für die übrigen Regionen einen sinkenden Trend. Interessant sind ferner die relativ grossen Unterschiede des IC-Verbrauchs pro Jahr und Einwohner von $ 12 für Europa und $ 35 für die USA. Der Verbrauch der Schweiz liegt mit $ 10 pro Einwohner und Jahr noch leicht unter dem europäischen Mittel! Ist dies wohl eine Kennziffer für die Fortschrittlichkeit der Industrie?

IC-Verbrauch und Produktion 1982 Tabelle I

	Verbrauch (Mio $)	Produktion, inkl. Captive (Mio $)	Produktion/ Verbrauch	Verbrauch pro Einwohner ($)
USA	8100	9300	1,15	35.–
Japan	2590	3130	1,21	22.–
Europa	1910	790	0,41	12.–
ROW	790	160	0,20	–.20
(CH	60	30	0,5	10.–)

(Quelle: ICE, Dez. 82)

Die Ansicht, dass die Anwendung und wenn möglich die Produktion von IC für den industriellen Fortschritt und damit die Wettbewerbsfähigkeit entscheidend ist, hat in einer Anzahl von Ländern zu staatlichen Förderungsmassnahmen geführt (Tab. II). Indirekt haben damit die USA den Anfang gemacht, haben doch in der Anfangszeit der IC-Entwicklung die militärischen Aufträge eine entscheidende Rolle gespielt. Eine eigentliche Aufholjagd mit sehr konkreten Zielen startete Japan 1976 mit dem VLSI-Programm. Auf die japanische Herausforderung antworteten die USA im Jahre 1979 mit dem VHSIC-Programm (very high speed integrated circuits), währenddem vor allem die grösseren europäischen Länder ihre nationalen Förderungsprogramme starteten. Man schätzt, dass seit 1978 etwa 2 Mia $ aus staatlichen Quellen in die IC-Industrie geflossen sind. Nicht enthalten in diesen Beträgen sind die Unterstützung der Forschung an Hochschulen und Instituten. Die teilweise massiven staatlichen Unterstützungen haben den Charakter eines Chip-Krieges angenommen und verzerren den Wettbewerb beträchtlich. Für multinationale Unternehmungen ist ein nicht unwesentlicher Punkt der Standortfrage derjenige nach der erhältlichen staatlichen Unterstützung.

Staatliche Unterstützung der IC-Industrie Tabelle II

Land	Programm	Dauer	Mio US-$
USA	VHSIC	1979–1985	200
J	VLSI	1976–1980	150
BRD	VLSI	1976–	30 p.a.
F	Plan Comp	1078–1983	120
GB	Inmos etc.	1978–1983	330
I	SGS	?	135
S	–	?	3 p.a.
A	AMI-VOEST	1980–	?
N	–	1981–	ca. 10 p.a.
CH	Impuls-Progr. 1	1980–1983	3
EEC	50%	1981–1984	140

p.a. pro Jahr

3. Produktetrends

Während die ersten integrierten Schaltungen vorwiegend militärische Anwendungen fanden, eroberten die IC in den folgenden Jahren nacheinander die elektronische Datenverarbeitung, Kommunikation sowie industrielle Anwendungen und letztlich das Consumer-Gebiet (Fig. 6). Militärische Anwendungen dürften in den nächsten Jahren vernachlässigbar klein bleiben, die Datenverarbeitung einen konstanten Anteil halten. Mit dem Erscheinen von Telefonstationen mit «Consumer features» und Personal Computers wird die Abgrenzung der Gebiete Datenverarbeitung, Consumer und industrielle Anwendungen recht schwierig.

Generell unterscheidet man heute vier verschiedene Produktekategorien, entstehend aus der Unterscheidung von Standard- und kundenspezifischen Schaltungen einerseits und anwendungsspezifischen (dedicated) und

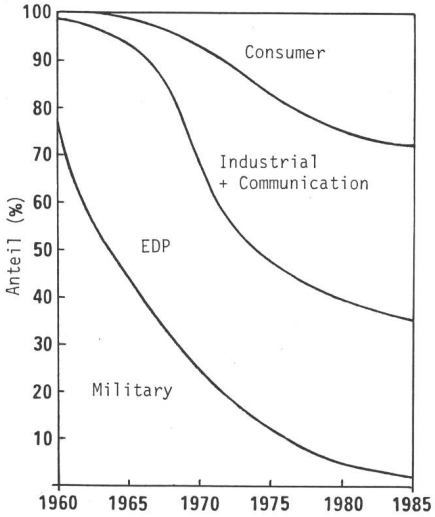

Fig. 6 Anwendungsbereiche der IC

allgemein anwendbaren (general purpose) IC andererseits (Fig. 7).

Historisch wurden die allgemein anwendbaren Standardschaltungen zuerst entwickelt, da für diese Kategorie der grösste Markt bestand und immer noch besteht. In dieser Kategorie ist eine Trennung zwischen der IC-Entwicklung und -Fertigung einerseits und deren Anwendung in grösseren Systemen andererseits möglich. Die grossen Produktionsstückzahlen und der grosse Markt führten zu einem enormen Preisdruck. Produktions-Know-how und Economy of Scale sind ausschlaggebend für die Konkurrenzfähigkeit. Die Produkte sind technologiegetrieben. Grosse, einheitliche Märkte geben den Anreiz zu den notwendigen Investitionen in Apparaturen und Technologieentwicklung. Hier haben die USA eine frühe Führung erreicht; Japan gewinnt rasch an Boden, während Europa praktisch abwesend ist.

In einer zweiten Phase wurden die anwendungsspezifischen Standardschaltungen entwickelt. Diese Schaltungen leben von System-Know-how des IC-Herstellers und verlangen deshalb eine enge Kopplung zwischen den IC-Produzenten und den Hauptanwendern. Sie entstanden hauptsächlich in vertikal integrierten Firmen. Dieser Teilmarkt ist anwendungsgetrieben. Europa hat hier eine relativ starke Position.

In einer dritten Phase entstanden die allgemein anwendbaren, aber kundenprogrammierbaren Schaltungen. Um in diesem Markt erfolgreich zu sein, ist vor allem der Kundenservice, der Kontakt mit dem Anwender ausschlaggebend. Eine wichtige Rolle spielt auch die Technologie-Beherrschung.

Full-Custom-Schaltungen, d. h. anwendungs- und kundenspezifische IC, sind schon seit dem Beginn der IC-Entwicklung vorhanden, konnten sich bis heute aber aus verschiedenen Gründen (grosse Entwicklungskosten, lange Entwicklungszeit, rasch steigendes Angebot von Alternativlösungen) nicht eigentlich durchsetzen. Wo sie es dennoch taten, handelt es sich oft um eine enge In-house-Zusammenarbeit zwischen Anwender und IC-Entwickler.

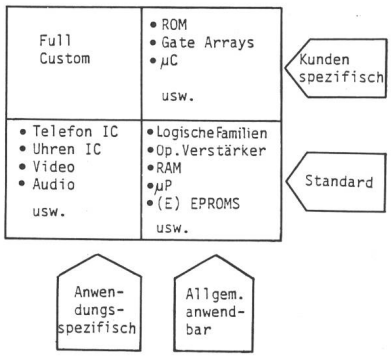

Fig. 7 Produktkategorien

4. Das Problem der kundenspezifischen IC

Der Hauptgrund für den relativen Misserfolg der kundenspezifischen IC liegt in einem Mangel an Entwicklungskapazität, der der IC-Industrie seit Anfang eigen ist. Dazu muss man sich vergegenwärtigen, dass wohl die Effizienz eines IC-Entwicklers dank CAD stark zugenommen hat und weiter zunehmen wird (Tab. III), dass aber andererseits wegen der zunehmenden Verbreitung der IC-Anwendungen, der sinkenden durchschnittlichen Produktionsmengen pro Typ und Jahr und der sich eher verkürzenden Lebensdauer der Produkte der notwendige Entwicklungsaufwand rascher zunimmt. In Zukunft wird sich deshalb ein viel grösserer Prozentsatz der Elektronikingenieure in irgendeiner Form mit IC-Entwicklung befassen müssen.

Effizienz eines IC-Entwicklers Tabelle III

	Gate-Equivalents pro Jahr digital	analog	CAD-Mittel
1960	10	10	-
1970	100	100	Grafische Layouthilfen
1980	5 000	500	Geschlossenes CAD-System
1986	50 000	?	Hierarchisches, strukturiertes Design
1990	10^6 (?)		Silicon-Compiler

Die ständige Knappheit an IC-Entwicklern führte auf jeden Fall dazu, dass die Hersteller ihre Entwicklungskapazität hauptsächlich für Standardprodukte verwendeten, um so ihre Produktionskapazitäten auszulasten. Kundenspezifische Schaltungen wurden eventuell in schlechten Zeiten angepackt, häufig aber wieder, zur Enttäuschung der Kunden, an den Nagel gehängt. Heute, mit der zunehmenden Komplexität der neuen IC, müssen sich die meisten Hersteller mit kundenspezifischen Schaltungen befassen, da das notwendige System-Know-how für neue Anwendungen nicht mehr im Hause zu finden ist. Grundsätzlich wird dadurch natürlich das Knappheitsproblem der IC-Entwickler nicht gelöst, sondern vom Hersteller zu den Anwendern verschoben.

Zu den (nicht überall gleich angewandten) Definitionen:

- Unter *Full-Custom* wird eine kundenspezifische Schaltung verstanden, die einen vollen eigenen Maskensatz verlangt, die deshalb durch eine relativ lange Entwicklungszeit, eine relativ lange Änderungsfrist bei Fehlern und der Notwendigkeit einer minimalen Abnahmestückzahl (mindestens eine Serie, bestehend aus 25 bzw. 50 Scheiben) gekennzeichnet ist. Es kann sich dabei um eine vollkommen für den entsprechenden Kunden optimierte (auch Flächenbedarf) Schaltung handeln, um einen Kunden-IC, basierend auf dem «standard cell»-Prinzip, oder neuerdings um ein strukturiertes Design oder einen «reconfigurable microcomputer».
- Im Gegensatz dazu sind beim *Semi-Custom»*-IC nur 1 bis 3 Masken kundenspezifisch. Da ein Inventar von halbfertigen (bzw. zu 90% fertigen) Scheiben besteht, sind Entwicklungszeit und Korrekturzeit für eventuelle Fehler kurz, und es besteht im Prinzip keine produktionstechnische untere Limite für die minimalen Stückzahlen (1 Scheibe).

Es wird angenommen, dass kundenspezifische IC in den nächsten Jahren überdurchschnittlich, mit etwa 50% pro Jahr, wachsen und gegen Ende dieses Jahrzehnts 50% des Marktumsatzes an IC ausmachen werden. Dabei wird erwartet, dass vorerst die Semi-Custom-IC und später die Full-

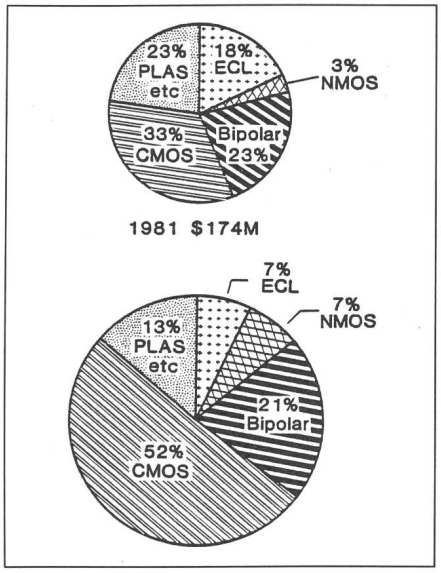

Fig. 8 Weltweiter offener Semi-Custom-Markt unterteilt nach Technologien

(Quelle: Mackintosh international)

ECL Emitter-Coupled Logic
PLAS Programable Logic Arrays

Custom-IC überwiegen werden. Der CMOS-Technologie wird auf diesem Produktesektor eine besonders blühende Zukunft vorausgesagt (Fig. 8), vor allem dank einem rasch wachsenden Spektrum von Gate Arrays.

Ob diese optimistischen Prognosen zutreffen werden, wird nicht zuletzt von der Art der Strukturen abhängen, die sich für dieses spezifische Geschäft herausbilden werden. Bis heute haben auf jeden Fall die wenigsten IC-Firmen bewiesen, diejenigen Dienstleistung bieten zu können bzw. zu wollen, die für den Erfolg von kundenspezifischen IC unabdingbar sind.

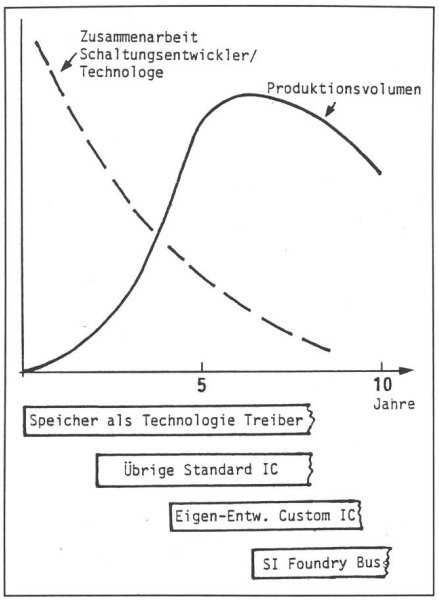

Fig. 9 Lebensdauer einer Technologie und deren Verwendung für verschiedene Produkte

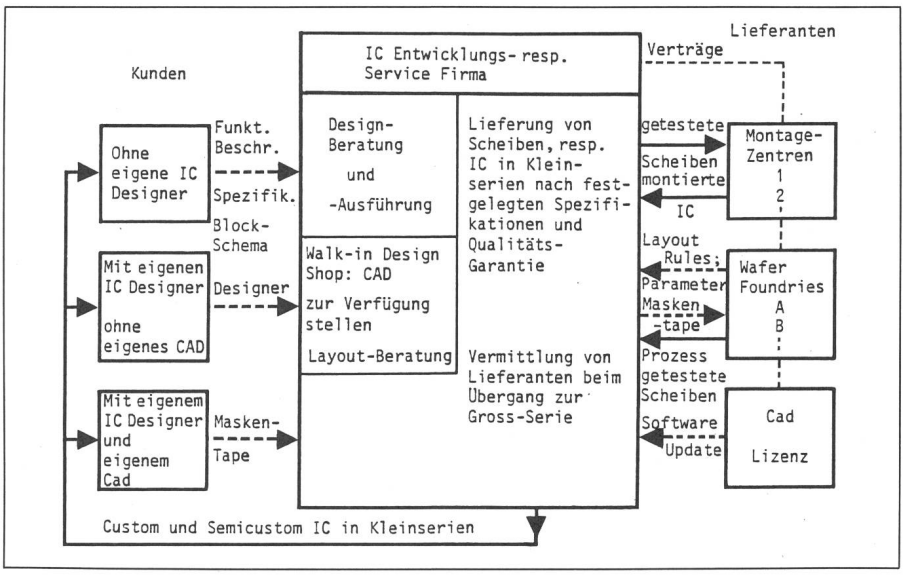

Fig. 10 Die Stellung der IC-Entwicklungs- bzw. -Servicefirma im Ablauf der IC-Entwicklung

Das Zögern bzw. Unvermögen der etablierten IC-Firmen, kundenspezifische IC zu entwickeln, hat zur Bildung von speziellen Entwicklungsfirmen geführt, die ihrerseits ihre Produkte bei Dritten, sogenannten «Silicon Foundries», herstellen lassen. Die IC-Industrie scheint damit eine natürliche Entwicklung der Spezialisierung innerhalb einer etablierten Industrie zu beschreiten. Obschon die IC-Industrie gewisse Anzeichen einer Reife zeigt, ist die Technologie aber noch lange nicht am Ende ihrer Entwicklung. Daraus folgt für die Silicon Foundries:

1. Reine Silicon Foundries dürften kaum Bestand haben, da die einmal etablierte Technologie nicht erneuert wird.

2. Silicon-Foundry-Technologien sollten sich während mehrerer Jahre als Technologie für Standardprodukte bewährt haben (Fig. 9).

3. Erfolgreich werden deshalb am ehesten etablierte IC-Firmen sein, die einen Teil ihrer Kapazität in einer Technologie, die ebenfalls für Standardprodukte verwendet wird, als Silicon Foundry zur Verfügung stellen.

Andererseits folgt für die «Entwicklungsfirmen», dass sie mehr als nur die Entwicklung, nämlich verschiedene zusätzliche Serviceleistungen und vor allem die unternehmerische Verantwortung für den IC übernehmen müssen, um die Lücke zwischen den Silicon Foundries und verschiedenen Kategorien von Anwendern schliessen zu können (Fig. 10).

5. Die Wirtschaftlichkeitsfrage des Produzenten

Tabelle IV zeigt schematisch die Hauptprobleme einer selbständigen

Hauptprobleme der selbständigen IC-Firma — Tabelle IV

	Produktentwicklung	Prozessentwicklung	Scheibenfertigung	Markt
Hauptproblem	CAD-Software, Beschaffung, Unterhalt, Weiter-entwicklung	Innovation, steigende Entwicklungs-kosten	Economy of Scale	Weltweite Präsenz für Verkauf *und* Produkte-innovation
«Lösungs»-Möglichkeiten	– Verzicht – Lizenz	– Lizenz – Personal-mobilität (Silicon-Valley-Effekt)	– Wafer-Foundry-Aufträge – Fertigung zu marginalen Kosten	Verkauf via Vertretungen
Keine prinzipiellen Probleme: Test (steigende Kosten) Montage (Abhängigkeit von Fernostzentren)				

Vertikal integrierte Firmen für kommerzielle IC (weltweit) Tabelle V

1970	1976	1982
ITT Motorola Raytheon RCA TI	AEG-Telefunken Ferranti GI Harris Hughes ITT Motorola NEC Plessey Philips/Signetics Raytheon RCA Rockwell Sescosem Siemens TI	AEG-Telefunken Bourns/PMI Exxon/Zilog Ferranti Fujitsu GE/Intersil GI Gould/AMI Harris Hitachi Honeywell/Synertek Hughes ITT Matsushita Mitsubishi Motorola NEC OKI Philips/Signetics Plessey Raytheon RCA Schlumberger/Fairchild Sharp Siemens Sprague Thomson-CSF TI Toshiba TRW UTC/Mostek

Quelle: Mackintosh International

IC-Firma. Fragen des Marktes und der Produkteinnovation führen zur vertikalen Integration (Tab. V). Es wurden in den letzten Jahren AMI von Gould, AMS von General Electric, Fairchild von Schlumberger, MOS Technology von Commodore, Mostek von United Technology, Signetics von Philips, Synertek von Honeywell sowie Zilog von Exxon übernommen, und erst kürzlich beteiligte sich IBM massgeblich an Intel. Die übriggebliebenen reinen Halbleiterfirmen sind an einer Hand abzuzählen.

Für den speziellen Fall der in letzter Zeit diskutierten «Frage» einer Kleinserienfertigung von CMOS-Scheiben für den schweizerischen Bedarf ist allein schon die «Economy of Scale» einer solchen Fertigung ein grösseres Kostenproblem. In Tabelle VI wurde auf der Basis von Erfahrungszahlen versucht, Investitionen, Personalbedarf und die daraus resultierenden Tarifkosten für verschiedene Fertigungskapazitäten abzuschätzen. Eine Auflagekapazität von 50 Scheiben pro Tag dürfte für den Gesamtbedarf der schweizerischen Uhrenindustrie heute genügen. Gemäss den Schätzungen der Studiengruppe «Mikroelektronik in der Schweiz» würden dazu noch etwa 10 Scheiben pro Tag für kundenspezifische Schaltungen für die übrige Industrie kommen. Nicht nur müsste deshalb mit mehr als den fünffachen Herstellungskosten gerechnet werden, sondern es ist auch sehr zweifelhaft, ob bei einem derart niedrigen Produktionsvolumen von einer stabilen Technologie mit garantierter und überwachbarer Qualität gesprochen werden könnte. Im weiteren ist zu beachten, dass die notwendigen Investitionen in Zukunft durch den Übergang auf komplexere Apparaturen (Wafer Stepper, Elektronenstrahl-Belichtung, Plasmaätzen usw.) stark zunehmen werden und damit die Kosten pro gefertigte Scheibe auch eine zunehmende Tendenz haben werden. Andererseits wird die Produktivität der in der Industrie als ökonomische Kapazität betrachteten 1000 Scheiben pro Tag auch in Zukunft durch technologische Entwicklungen steigen (Tab. VII), so dass die Auslastung einer Fabrikationseinheit nur durch eine entsprechende Produktionszunahme gewährleistet werden kann.

Kosten der Scheibenfertigung (Economy of Scale)
(Stand 1983: Technologie CMOS, 3–5 μ) Tabelle VI

Auflagekapazität in 4-Zoll-Scheiben	pro Jahr pro Tag	11k 50	45k 200	112k 500	225k 1000	Zukunfts-tendenz
Investitionen in Mio sFr.	Apparate Infrastruktur	10 8	14 12	18 14	28 16	↗
(ohne Testen, CAD usw.)	Total	18	26	32	44	
Personal	Prozessengineers Rep. und Unterhalt Operators Prod. Indirekte	10 10 12 4	12 14 30 6	14 20 50 10	15 30 90 15	→
	Total	36	62	94	150	
Tarifkosten	Mio Fr. pro Jahr	7	11	15	22	↗
(ohne Material, Entwicklung, Verkaufskosten)	Fr. pro gefertigte Scheibe	700.–	270.–	150.–	110.–	

Nachdem im Vorliegenden versucht wurde, mikroelektronische Umwelt und Entwicklungstrends aufzuzeigen, denen sich die Schweizer Industrie gegenübergestellt sieht, und die Grenzen einer Schweizerischen Produktionsaktivität abzuschätzen, wird die viel schwierigere Frage einer möglichen Strategie bewusst offen gelassen.

Produktivitätssteigerung der «wirtschaftlichen Einheit» Tabelle VII

Jahr Schaltung	1961 RTL	1969 MSI-TTL	1979 NMOS LOGIC	1985 NMOS LOGIC
Scheibendurchmesser	1″	2″	4″	5″
Chipgrösse (mm²)	1	5	20	30
Ausbeute (%)	10	15	30	50
Funktionseinheiten pro Chip	1	100	5×10^3	2×10^5
Gute Funktionseinheiten pro Wafer	50	10^4	5×10^5	5×10^7
Funktionseinheiten pro Jahr bei einer wirtschaftlichen Produktionseinheit von etwa 1000 Scheiben pro Tag	10^7	10^9	10^{11}	10^{13}