

**Zeitschrift:** Comtec : Informations- und Telekommunikationstechnologie = information and telecommunication technology  
**Herausgeber:** Swisscom  
**Band:** 79 (2001)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Small is beautiful  
**Autor:** Klipstein, Delano L.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-876540>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.03.2025

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

IEDM

# Small is beautiful

Im Umfeld des International Electron Devices Meeting (IEDM) werden stets ganztägige Kurse (Short Courses) über aktuelle Themen veranstaltet, die für viel Geld an einem Tag alles Wissenswerte in kompakter Form liefern. Wer sich nicht rechtzeitig dafür anmeldet, hat als «Last-Minute»-Bucher keine Chance. Diesmal hätte man keinen Klappstuhl mehr aufstellen können, denn das Thema brennt sichtlich allen Firmen auf den Nägeln: «Technology for the Internet Era».

Im Jahr 1997 überholten die Mobilfunkgeräte zahlenmässig die PCs. Rund 250 Bauelemente sind in einem Cellular Phone durchschnittlich enthalten. Davon sind 214 passive Bauelemente, 12 Chips und 18 diskrete Bauele-

---

DELANO L. KLIPSTEIN

---

mente. Schon aus dieser Zusammenstellung wird deutlich, dass das «Scaling», das weitere Schrumpfen der feinsten Chipstrukturen, nicht mehr die alleinige treibende Kraft für eine Kostensenkung sein kann. Neben sie tritt das Konzept der Integration ganzer Funktionen auf einem Chip, die «Systems-on-Silicon»

(SoC). Für sie wird eine neue Technologiestrategie erwartet und die wird dann für alle künftigen Internetprodukte gelten.

## Aufbruch zu neuen Strategien

Mike McMahan von Texas Instruments (TI) beschäftigte sich zunächst mit der bisherigen Entwicklung der drahtlosen Systeme, um daraus künftige Leitlinien zu entwickeln. Mike McMahan studierte am MIT und an der University of Illinois, hat bei Texas Instruments massgeblich an Spracherkennungsverfahren gearbeitet, wurde 1990 zum «TI Fellow» ernannt und leitet heute die Forschung und Entwicklung bei TI im Bereich der drahtlosen Technik. Mike McMahan zeigte die rasante Entwicklung an Hand der Historie





des Mobilfunks auf. Sie führte von den einfachen Mobiltelefonen der 80er-Jahre (ein Hochleistungs-Transmitter, ein Frequenzband – das Ganze ein einfaches System mit limitierter Kapazität) über die ersten Zellulernetze (viele Low-Power-Transmitter, wiedergenutzte Frequenzen, wenn der Nutzer die Zelle verlässt – ein komplexes System mit hoher Kapazität) zum «Cell-Splitting» (einer Aufteilung der einzelnen räumlichen Funkzellen, um die Systemkapazität zu erweitern). Nur so war es möglich, stark genutzte Gebiete wie Autobahnen und Innenstädte zu bedienen und eine Anpassung an den zeitlich unterschiedlichen Verkehr zu ermöglichen.

Der Schlüssel für die intensive Nutzung liegt in einer ganzen Hierarchie von Netzbausteinen (Bild 1):

- Personal Area Networks (PAN), beispielsweise mit Bluetooth.
- LANs, als HyperLAN oder WLAN nach IEEE-Standard 802.11.
- WANs, wie GSM, CDMA, TDMA.
- Globale Netze über Satelliten und Seekabel.

Eine weitere Strukturierung ergab sich aus der Aufteilung der Geräte nach Generationen wie 1G, 2G, 2,5G und zukünftig 3G. Die erste Generation war noch analog und konnte nur Sprache übertragen. Die zweite Generation war schon digital und ermöglichte neben der Sprachübertragung auch Paging und E-Mail. Mit 2,5G wird nach dem Verständnis der Anbieter eine Zwischengeneration bezeichnet, die jetzt auf den Markt kommt. Die dritte Generation ist breitbandig, ermöglicht alle Multimedia Services und arbeitet auf der Systemseite zumeist mit Windows CE.

Die erste Generation der Geräte kam aus Europa. Es gab noch keinen einheitlichen Standard, das genutzte Frequenzband lag um 25 MHz. Der Einsatz von digitalen Signalprozessoren (DSP) war noch weitgehend unbekannt. Im Durchschnitt wurde eine Übertragungszelle sieben Mal wieder benutzt (Cell Re-Uses). Der Übergang auf die zweite Generation war von der Technik aus gesehen eine Zeitmultiplexnutzung (TDMA), die Systeme dafür heissen je nach Konsortium GSM,

	<b>Global Networks</b>	<b>Satellite</b>
	<b>Wide Area Networks (WANs)</b>	<b>Cellular: GSM, CDMA, TDMA (2G, 2,5G, 3G)</b>
	<b>Local Area Networks (LANs)</b>	<b>WLAN: 802.11, HyperLAN</b>
	<b>Personal Area Networks (PANs)</b>	<b>802.15 Bluetooth</b>

McMahann/IEDM

Bild 1. Eine vierstufige Hierarchie bestimmt heute die drahtlosen Netze. Neu hinzugekommen ist seit kurzem die untere Ebene der Personal Area Networks, die auf der Bluetooth-Technologie beruhen.

IS136 oder PDC. Alle diese Systeme nutzen bereits DSPs. Der europäische GSM-Standard deckt etwa zwei Drittel aller weltweit verbreiteten Mobiltelefone ab. Der Standard IS95 nutzt Code Division Multiple Access (CDMA) und wird gegenwärtig nur in den USA (60 Mio. Teilnehmer) und in Asien sowie Australien (23 Mio. Teilnehmer) eingesetzt. IS95 ermöglicht bis zu 200 Gespräche pro Zelle. Man braucht dafür aber sehr komplexe Schaltkreise: Prozessoren mit mehr als 10 MIPS, DSPs mit wenigstens 60 MIPS und ASICs mit mehr als 100 000 Gates pro Chip.

### Was treibt die heutige Generation an?

Es ist die Differenzierung der Anwendung: Sprache ist nur noch ein Service neben anderen. Unterschiedliche Daten-Services finden jetzt ihren Platz. Der M-Commerce («M» steht für Mobil) erweist sich allmählich als künftige treibende Kraft. Für den Nutzer steht im Vordergrund, dass zu jeder Zeit alle gewünschten Informationen erreichbar sind. Technologisch ist dieser Durchbruch durch das Packet Switching möglich geworden. Packed-Based-Systeme sind immer und überall erreichbar, während die alten, reinen Sprachsysteme mit Circuit Switching rund 30 s zum Aufbau der Verbindungen brauchten. Die Datenraten stiegen spürbar. Systeme der zweiten Generation (2G) können 14,4 kbit/s verarbeiten. Die neueren 2,5G-Systeme sind schon einiges besser. Sie lassen bis zu 115 kbit/s unter Nutzung verschiedener Time Slots zu. Ökonomisch betrachtet ist die zweite Generation stark kostengetrieben. Der Wettbewerb geht fast nur noch über den Preis.

Bei den künftigen Mobilfunkgeräten der dritten Generation (3G) sind die Datendienste die eigentlichen Treiber. Der reine Sprachverkehr tritt dagegen zurück. Der entsprechende ITU-Standard hat 5 MHz Bandbreite festgelegt (mit WDMA in Europa und CDMA in den USA). Das bedeutet für die Kunden niedrigere Telefonrechnungen und weniger abgeblockte Gespräche. Für die Anbieter ist die Breitbandtechnik wirtschaftlich interessant. Sie verspricht wieder mehr Gewinn, bietet mehr transportierte Bits und mehr zahlende Kunden pro Zelle. In Zukunft wird man zwar weitgehend vereinheitlichte Systeme haben, aber keine einheitlichen Frequenzbänder, da die existierenden lokalen Nutzungen dies nicht zu-

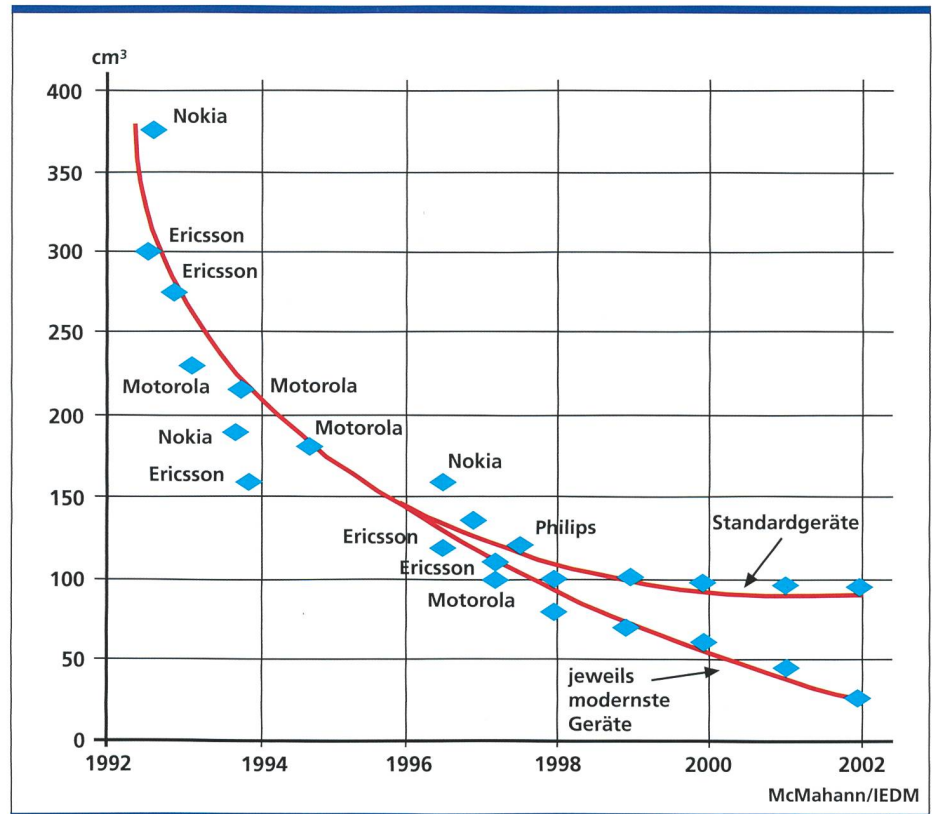


Bild 2. Klein ist schön – das gilt bei Mobilfunkgeräten schon seit den 90er-Jahren. Innerhalb einer Dekade ist das Volumen der Handgeräte auf etwa ein Zehntel zurückgegangen.

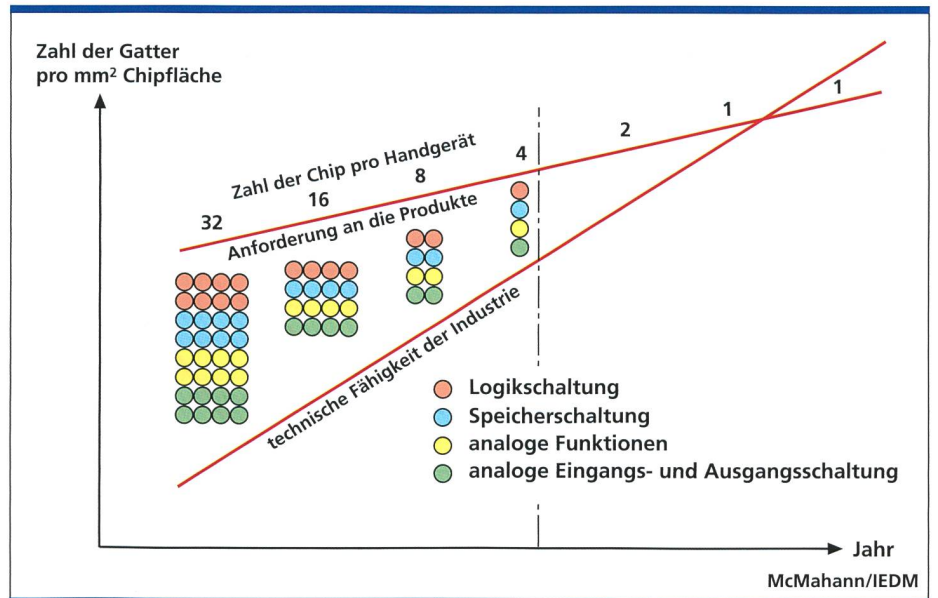


Bild 3. Kostensenkung hat den Mobilfunkgeräten breite Abnehmerschichten bis hin zu Kindern erschlossen. Der Weg zum 1-Chip-Handgerät ist vorgezeichnet.

lassen. In der WRC2000 sind daher verschiedene Bänder als Vorschläge enthalten. Für einen weltweiten Informationsaustausch mit Roaming bleibt diese Lösung unbefriedigend, zumal sie auch technisch ein grosses Problem ist. Für die Mobilfunkgeräte selbst, die Han-

dys, gilt weiter der langjährige Trend: «small is beautiful». Kleinere Geräte, kaum so gross wie eine Zigarettenschmuckdose, aber deutlich flacher, werden weiter gefragt sein (Bild 2). Damit wird die weitere Integration der Bauelemente das entscheidende Schlagwort sein. In-



nerhalb der letzten zehn Jahre ist das Volumen der Handsets um den Faktor 4 geschrumpft. Der Formfaktor hat sich zum entscheidenden Verkaufsargument gemauert, weil die neuen Geräte auch in Damenhandtaschen passen. Der Preis für die Chips geht trotz wachsender Kom-

plexität weiter herunter, die Leistung bei der Signalverarbeitung steigt, die Energieaufnahme sinkt und die Zuverlässigkeit der Geräte nimmt zu. Für die künftigen Entwicklungen ergibt sich daraus ein Paradigmawechsel. Die wirklichen Treiber für zukünftige Ent-

wicklungen sind nämlich die Kosten. Wer als Erster in hochvolumige Produktionszahlen einsteigen kann, der gewinnt. Schon der Zweite wird nur noch den Break Even erreichen und mit plus/minus Null herauskommen. Der erwartete Rückgang der Produktionszahlen gegenüber dem letzten Jahr (man rechnet «nur» noch mit einem Plus von 35% gegenüber dem Jahr 2000) macht die Kalkulation nicht leichter. Mobilfunkgeräte sind zwar das höchst volumige Consumer-Produkt, das jemals gebaut wurde. Aber tragbare Geräte dieser Art erfordern eine neue Art der gesamten Prozessoptimierung. Der rasche Informationsaufbau wird es nicht um jeden Preis geben. Man wird sich auf diejenige Leistung fokussieren, die man bei minimalem Energieverbrauch und bei möglichst niedrigsten Kosten erreichen kann (Bild 3).

Damit kommt einer neuen Art von Systemintegration eine überragende Rolle zu. Bisher hat man nur die «niedrig hängenden Früchte» erreicht, wie beispielsweise die Integration einzelner Funktionen auf einem Chip und auch diese nur bei gleichartiger Siliziumtechnologie. Das reicht aber für die Zukunft noch nicht. Man wird unterschiedliche Technologien auf einem Chip realisieren müssen und die vergleichsweise grosse Zahl von passiven Bauelementen weiter reduzieren. Damit ergibt sich längerfristig eine Verschiebung bei den Anforderungen. Wenn nämlich eines Tages alle benötigten Funktionen auf einem Chip möglich sind, dann muss man über neue Produktanforderungen nachdenken und «unwahrscheinliche» Funktionen einbauen. Doch wer weiss schon heute, was der Verbraucher morgen will?

**Kein Mobilnetz ohne Festnetz**

Dr. Walter Y. Chen von Scenix studierte am Polytechnischen Institute of New York und am CalTech. Er arbeitete viele Jahre bei den Bell Labs, bei Bellcore, bei TI und Motorola und ist heute bei Scenix für die Entwicklung von Hochleistungs-Hardware und Software verantwortlich. Er setzte den Schwerpunkt seiner Betrachtungen auf die drahtgebundenen Systemteile des Internets. Viele Systemanbieter – allen voraus die Europäer und dort besonders die Deutschen – setzen auf eine ganze Hierarchie von verschiedenen Systemen. Glasfasern dienen als Backbones, doch dann läuft es schnell auseinander. ISDN ist in Deutschland sehr

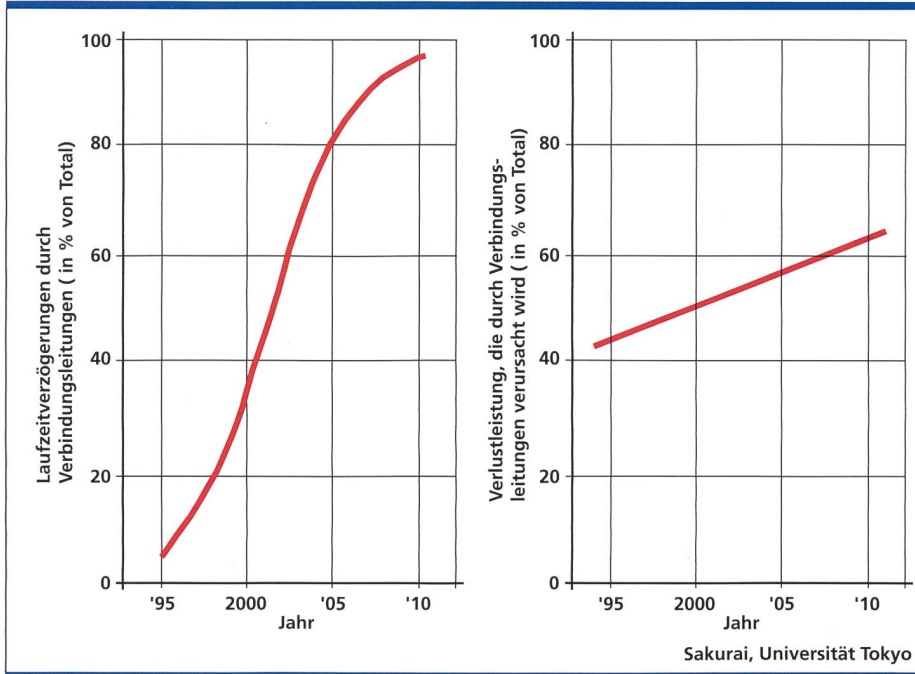


Bild 4. Die ständige Höherentegration der Chips zu Systems-on-Silicon (SoS) führt zu immer längeren Leitungen auf dem Chip. Damit steigt die Signallaufzeit mit der Länge der Verbindungsleitungen.

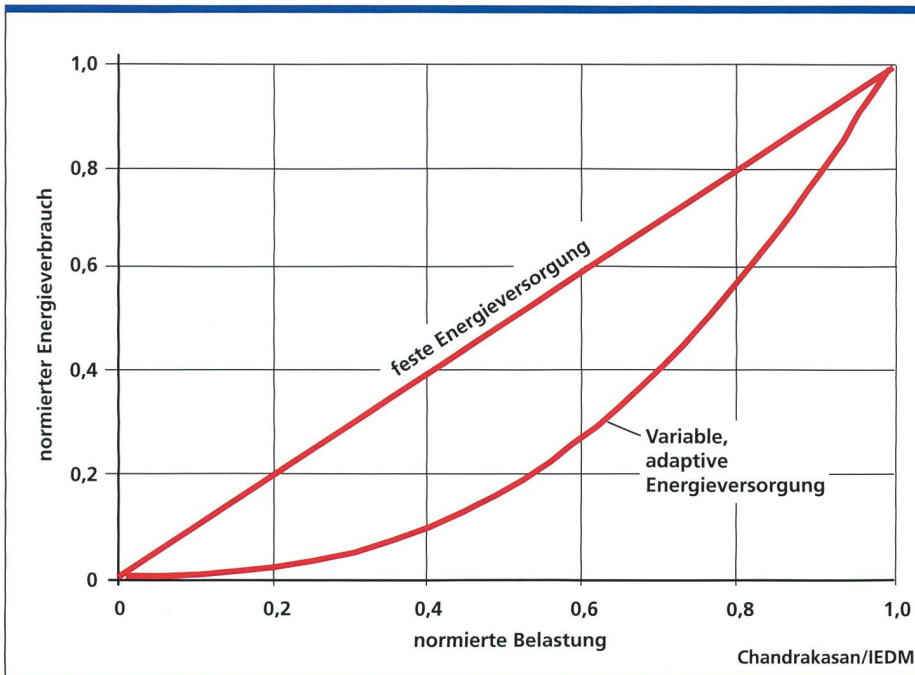


Bild 5. Eine konstante Stromversorgung für die Chips dürfte bald ausgedient haben. Das Bild zeigt die Abhängigkeit von Last und Energieversorgung. Sie ist linear bei konstanter Energieversorgung, nicht linear aber bei adaptiver Energieversorgung. Hier wird nur so viel Energie abgerufen, wie für die Bearbeitung der jeweiligen Aufgabe benötigt wird.



erfolgreich, aber nicht in den USA. Das liegt daran, dass die ISDN-Konzeption schon ziemlich alt ist und auf die 70er-Jahre zurückgeht. Mit 64 kbit/s (bzw. jetzt  $2 \times 64 \text{ kbit/s} = 128 \text{ kbit/s}$ ) ist bei den rasch gewachsenen Anforderungen kaum mehr zu brillieren. ADSL und HDSL sind im Übertragungsbereich mit 400 bis 800 kbit/s bereits besser, HDSL-2 kommt auf 1,5 Mbit/s und SHDL hat sogar eine von der Anwendung abhängige, variable Frequenzbandnutzung, die zwischen 160 kbit/s und 4 Mbit/s liegen kann (Tabelle 1).

ADSL kann bis zu etwa 50 km genutzt werden und teilt sich die Kapazität mit konventionellen Diensten wie Telefon, Internet, VoIP oder Kabelfernsehen. HDSL bietet allenfalls vorübergehende Zwischenlösungen. VDSL schliesslich bringt die Glasfaser vom Amt bis in die Nachbarschaft und geht dann von da aus über konventionelle, verdrehte Amtsleitungen (Twisted Pairs) zum Teilnehmer. Dort übernimmt ein Splitter anschliessend die Aufteilung auf das Telefon und den PC sowie Fernseher.

Alle DSL-Systeme bauen auf existierenden Telefonleitungen auf unter Nutzung von Signalprozessoren. Dafür braucht man wiederum eine ziemlich aufwändige Siliziumtechnologie. Die erforderlichen Transceiver benötigen wegen der hohen Auflösung digitale Siliziumschaltungen vom neuesten Stand. Offeriert werden solche DSL-Lösungen von den klassischen Telefonanbietern. Die Systeme bieten Erstaunliches und ermöglichen eine 14-bit-Auflösung bei 44,16 MHz. Das alles kann man natürlich auch über Kabelmodems haben, die von den Kabelfernseh-Dienstleistern geliefert werden. Allerdings muss man einräumen, dass diese Kabelmodems nicht ganz so gut auflösen wie DSL-Systeme. Die Kabelmodems erreichen etwa 10 bit Tiefe bei 30 MHz.

Im Haus nutzen Heimnetzwerke die existierenden Telefonleitungen. Man braucht im Prinzip im Haus keine neuen Kabel. Die erforderlichen Netzwerke kann man bereits kaufen: HomePNA 1.0 leistet 1 Mbit/s, HomePNA 2.0 erreicht 10 Mbit/s. Der nächste Schritt wird die Version 3.0 sein mit etwa 30 Mbit/s. Sie ist zurzeit noch in der Entwicklung. Alle diese Heimnetze haben eine mittlere Auflösungsqualität, benutzen Mixed-Signal-Technologie mit sehr hohen Abtastraten. Auch VoIP (Voice over Internet Protocol) ist nicht nur an den PC gebun-

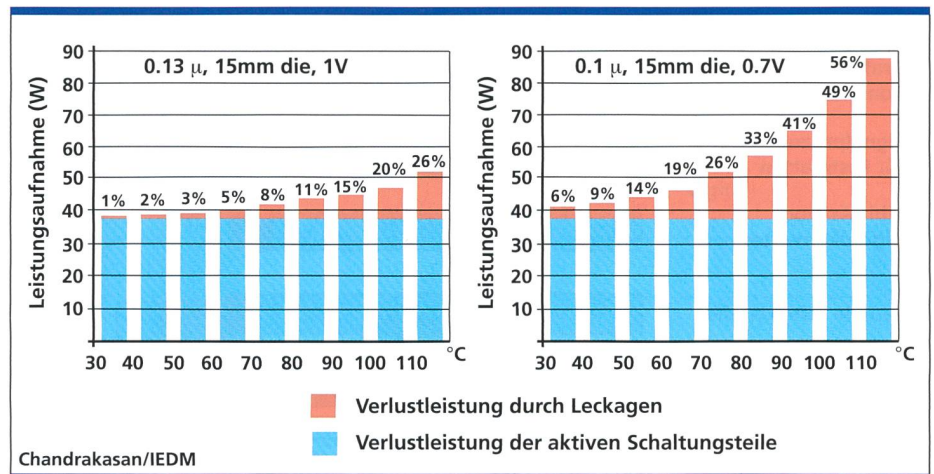


Bild 6. Mit schrumpfenden Strukturen auf dem Chip steigt die Verlustenergie durch Leckagen auf dem Chip. Je höher die Betriebstemperatur des Chip, desto stärker wirkt sich dies aus.

den, sondern lässt sich durchaus im Haus weiter verteilen.

### Mehr Leistung aus weniger Energie

Mit Anantha Chandrakasan vom MIT in Cambridge (Massachusetts) ging es schnell zur Sache. Der noch junge, aber schon vielfach ausgezeichnete Associate Professor am Lehrstuhl für Elektrotechnik und Computervissenschaften machte auf einen der Schwachpunkte aufmerksam, der gerade bei künftigen Anwendungen eine grosse Rolle spielen wird, nämlich der zu hohe spezifische Energieverbrauch der heutigen Schaltungen. Künftige mobile Anwendungen wie integrierte PDAs (Personal Digital Assistant), die in andere Funktionen wie beispielsweise Armbanduhren eingebaut werden, müssen einen viel kleineren Stromverbrauch aufweisen, wenn die Integration gelingen soll. Aber auch völlig neue Anwendungen wie die medizinische Fernüberwachung von Patienten oder die Fernwartung von Geräten und Systemen sind auf geringen Energieverbrauch angewiesen. «Formfaktor, geringe Abmessungen, Energieverbrauch und niedrige Kosten sind die Schlüsselgrössen für alle künftigen Internetanwendungen», so seine These. Und das sei in dieser Kombination nur zu erreichen, wenn eine Integration unterschiedlicher Prozesstechnologien auf einem Chip gelingt. Während gängige Prozessoren pro Operation einen Energieverbrauch von etwa 1 bis 10 pJ haben, müssen integrierte Prozessoren auf einem SoC (System-on-Chip) mit 1 nJ auskommen – eine gewaltige Herausforderung für die Entwickler. Während die Betriebsspannung von übli-

chen Prozessoren von 3,5 V auf etwa 1 V sinkt, steigen die verlangten Prozessorleistungen von etwa 30 bis 40 W heute auf bis zu 150 W in Zukunft an. Damit stellt sich die Frage, wie man verhindern will, dass diese Chips nicht den inhärenten Wärmetod sterben.

Anantha Chandrakasan hat auch ein Rezept, was zumindest Ansatzpunkte erkennen lässt. Es wird viel zu viel Overhead-Leistung mitgeschleppt, die durch die Verdrahtung (eine Quelle von Verlustleistung durch den Ohm'schen Widerstand) und die Steuerung der Funktion verursacht wird. Allein der Verdrahtung wird rund zwei Drittel aller Verlustleistung auf den Chips zugerechnet. Die «Energieeffizienz pro Operation» (wie er es nannte) liegt nur bei weit unter 1%. Und nicht nur die schlechte Energiebilanz spricht gegen eine weitere Nutzung der heutigen Bausteine. Die zunehmenden Laufzeiten auf den immer grösser werdenden Chips werden den gängigen Entwurfstechniken bald ein Ende setzen (Bild 4).

Den technischen Ausweg aus der Klemme sieht er in rekonfigurierbaren Bausteinen, die eine Verarbeitung von Bit für Bit zulassen. Digitale Signalprozessoren (DSP) mit sehr niedrigem Energieverbrauch kommen zwar als Einzelblock nicht mehr auf die erwarteten Verarbeitungsleistungen, aber durch Parallelverarbeitung wird man sie weit über die heutigen Grenzen hinaus beanspruchen können.

Dann wird man nach den kritischen Signalpfaden auf den Chips suchen müssen. Alle Gatter, die in diesem Pfad liegen, müssen wegen der geforderten Signal-



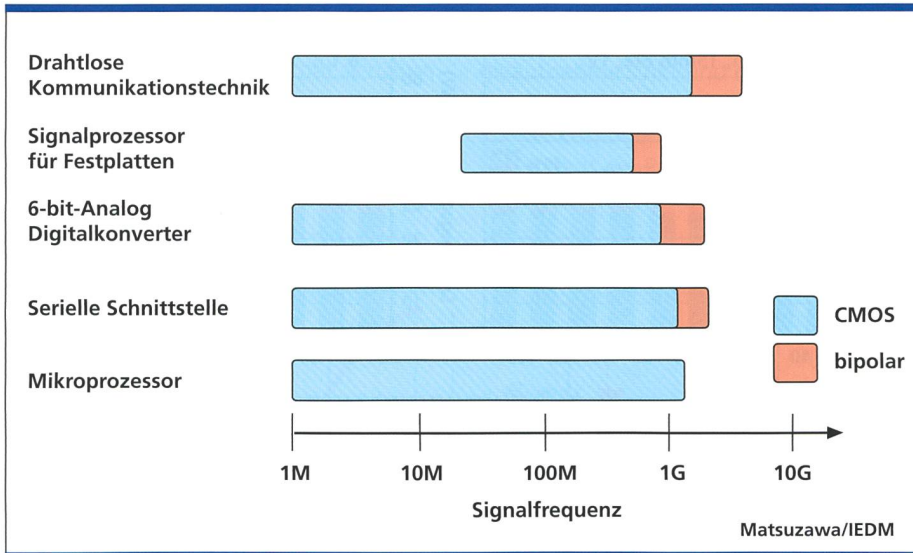


Bild 7. Der Vorsprung von bipolaren Schaltkreisen gegenüber den CMOS-Schaltungen schrumpft stetig, was die Leistungsfähigkeit im Hochfrequenzbereich angeht.

verarbeitung mit höherer Spannung betrieben werden können. Alles was nicht dazu gehört, kann man mit niedriger Versorgungsspannung betreiben – oder ganz abschalten, wenn die Funktion aktuell nicht benötigt wird. Das senkt den Energieverbrauch und das Verfahren hat auch schon einen Namen: «Clustered-Voltage-Scaling»-Struktur (CVS). Erste Designstudien haben eine Energieeinsparung von 25% auf Chipebene ergeben; auf der Ebene der Building Blocks liegt sie mit 35% deutlich höher. Doch damit nicht genug. Mit geeignetem Feedback muss ein Regelungsnetzwerk geschaffen werden, das den kritischen Signalpfad überwacht und ihn funktionsfähig hält. Dieser selbstgesteuerten, adaptiven Stromversorgung wird grosse Bedeutung zukommen.

Weitere Energieeinsparung muss aus der Signalverarbeitung selbst kommen. Da im zeitlichen Ablauf nicht ständig die volle Verarbeitungsleistung gefragt ist und da die ankommenden Signale normalerweise nicht gleichmässig verteilt sind, kann man die Verarbeitung dem Bedarf anpassen. Das könnte so vonstaten gehen, wie man es bereits von der Bildsignalverarbeitung her kennt. Man vergleicht zwei aufeinanderfolgende Signalrahmen miteinander und verarbeitet nur die Veränderungen. Wie sich solche adaptiven Stromversorgungen auf den gesamten Leistungsverbrauch auswirken, zeigt das Bild 5. Für solche «neue» Prozessoren, die das bereits leisten, gibt es schon ein Beispiel: den StrongArm-1100-Prozessor.

Eine weitere Verlustquelle in den Chips sind die mehr oder minder grossen, aber unvermeidlichen Leckströme. Insbesondere bei selten benötigten Schaltkreisteilen summieren sich diese Leckströme über die Zeit zu spürbaren Beträgen. Das trifft insbesondere dann zu, wenn die Versorgungsspannung zurückgeht (Bild 6). Dann wirken sich die Leckagen viel stärker aus. Das trifft beispielsweise auch «schlafende» Transistoren, die nicht aktiv an einer Verarbeitungskette beteiligt sind, aber jederzeit aktiviert werden können.

Die Probleme mit der Energieverschwendung bei der Verbindungstechnik des Chip wird man wohl nur mit einem ganz neuen Ansatz in den Griff bekommen. Man wird wohl eher von der Systemtechnik her abwärts als wie bisher vom Bauelement her aufwärts gehen müssen. Ein paar Grundrezepte gibt es natürlich und eines der wichtigsten heisst: «Reduziere die Verbindungslänge für solche Signale, die ständig aktiv sind. Verwende Signalcodierungen, die ein Minimum an Energieverbrauch haben.» Dazu verhilft manchmal bereits eine Invertierung des Signals für die weitere Verarbeitung (womit man mehr Nullen bekommen kann) oder eine Hochleistungs-Signalverarbeitung wie die Wavelet-Codierung. Auf der Systemebene kann man noch weiter gehen. Anhand von erfassten Gebrauchsstatistiken des fraglichen Geräts kann man selektive Abschaltungen von Systemteilen vornehmen, die nur selten benötigt werden. Sie stören möglicherweise nicht den Ablauf der Gesamtfunk-

tion, wenn man dies auf den Nutzer abstellt. Das gilt selbst auch für kurzzeitiges Abschalten von Festplattenlaufwerken nach dem Schreib-/Lesevorgang. Gerade hier bestehen noch grosse Energiereserven. Der letzte Schritt bei der Energieeinsparung wendet sich an die System-Provider. Das Direkt-Routing vom mobilen Gerät zum Empfänger der Providers kostet ein Mehrfaches an Energie im Vergleich zum Multi Hop Routing. Mit der Entfernung steigt der Energiebedarf auch noch an. Ein «Hop» über 100 m Entfernung benötigt etwa 100 nJ/bit, zehn «Hops» über je 10 m Entfernung aber zusammen nur 10 nJ/bit.

### Signal-Entwurf von Systems-on-Chip

Akira Matsuzawa als nächster Lektor ging auf ein paar Probleme des Mixed-Signal-Entwurfs von Systems-on-Chip (SoC) ein. Matsuzawa studierte und promovierte an der Tohoku-Universität in Sendai (Japan). Bei Matsushita Electric Industrial arbeitete er sich bis zum General Manager der Halbleiterentwicklung hoch. Zu Recht stellte er eingangs seines Vortrags fest, dass der Vorsprung von bipolaren Schaltungen gegenüber den CMOS-Schaltungen immer mehr schrumpft. Während bipolare Schaltkreise bis etwa 3 GHz ihr Einsatzgebiet finden, haben die CMOS-Schaltungen auch bereits die 1-GHz-Marke überschritten (Bild 7). Ganz erreichen werden die CMOS-Schaltungen aber die Konkurrenz nicht. Bedingt durch den Aufbau bildet der CMOS-Schaltkreis selbst bei gleicher Transitfrequenz  $f_T$  mehr parasitäre Kapazitäten, welche die nutzbare Grenzfrequenz herabsetzen. Auch bei der Rauschzahl schneiden die bipolaren Schaltungen deutlich besser ab. Will man daher das Beste aus den beiden Technologien auf einem Chip vereinen, braucht man Entwurfs- und Simulationswerkzeuge, die durchgehend eine Signaloptimierung sowohl auf der analogen als auch auf der digitalen Seite zulassen. Ein Mixed-Signal-SoC ist mehr als das Zusammenbringen analoger und digitaler Schaltungselemente. Nur wenn beide Teile wirklich optimiert sind, kommt für das Gesamtsystem ein Vorteil heraus. Manche bekannte Simulationstools sind aber relativ langsam, insbesondere wenn man Rückkopplungsschleifen hat. Akira Matsuzawa rät zu einer Mischung aus Verilog- und SPICE-Simulation, die auf die gleiche Genauigkeit kommt, aber bis zu fünfzig Mal schneller ist.



Mittelfristig gibt Akira Matsuzawa dem Mixed Signal Design keine grossen Chancen mehr, vor allem deshalb, weil ein grosser Teil von analogen Schaltungsteilen nur eingeschränkt weiter «geshrinkt» werden können, während sich die digitalen Schaltungsteile weiter linear verkleinern lassen. Das führt dazu, dass die Kosten für den Chip durch nicht nichtskalierbare Schaltungsteile bestimmt werden, die zum Schluss dann den Preis bestimmen (Bild 8). In der Quarter-Micron-Technologie entfielen bei Mixed Signal Chips ein Siebtel der Kosten auf I/O-Schaltungen, zwei Siebtel der Kosten auf analoge Schaltungsteile und vier Siebtel der Kosten auf die digitalen Schaltungsblöcke. In der künftigen 0,13- $\mu\text{m}$ -Technologie bestimmen die analogen Schaltungsteile bereits zu zwei Dritteln die Gesamtkosten.

Ein Ausweg zeichnet sich mit der Chip-on-Chip-Technologie (CoC) ab. Sie schafft eine kostengünstige Verbindung über «Bumps» (winzige Verbindungshöcker) auf den Oberflächen der Chips, sodass ein Chip direkt in einen anderen eingesetzt werden kann. Auf diese Weise bleiben die speziellen, optimierten Eigenschaften der analogen und digitalen Chips erhalten, ohne dass man eine wesentlich erhöhte Verlustleistung oder gar einen Geschwindigkeitsverlust in Kauf nehmen muss.

### Hochfrequenztechnik bei Internetanwendungen

Als letzter Redner im Seminar nahm sich Joachim Burghartz vom DIMES der Universität Delft (Niederlande) des Themenkreises «Hochfrequenztechnik bei künftigen Internetanwendungen» an. Joachim Burghartz studierte Elektrotechnik an der Technischen Universität Aachen und promovierte später in Stuttgart. Nach einem zweijährigen Aufenthalt am renommierten Thomas J. Watson Forschungslabor der IBM in der Nähe von New York kam er 1998 als Professor an die Universität Delft.

Joachim Burghartz hatte eine erfreuliche Nachricht für die Zuhörer. Im Grossen und Ganzen sind die Leitungsdaten heutiger Hochfrequenz-Bauelemente auch für die nächste Generation ausreichend. Man wird mehr Aufmerksamkeit auf die Linearität, auf die Rauschcharakteristika legen und es gibt sicher auch ein paar ungelöste Probleme. Wie kann man beispielsweise Resonatoren mit hohem Q oder Filter im GHz-Bereich integrieren? Eine

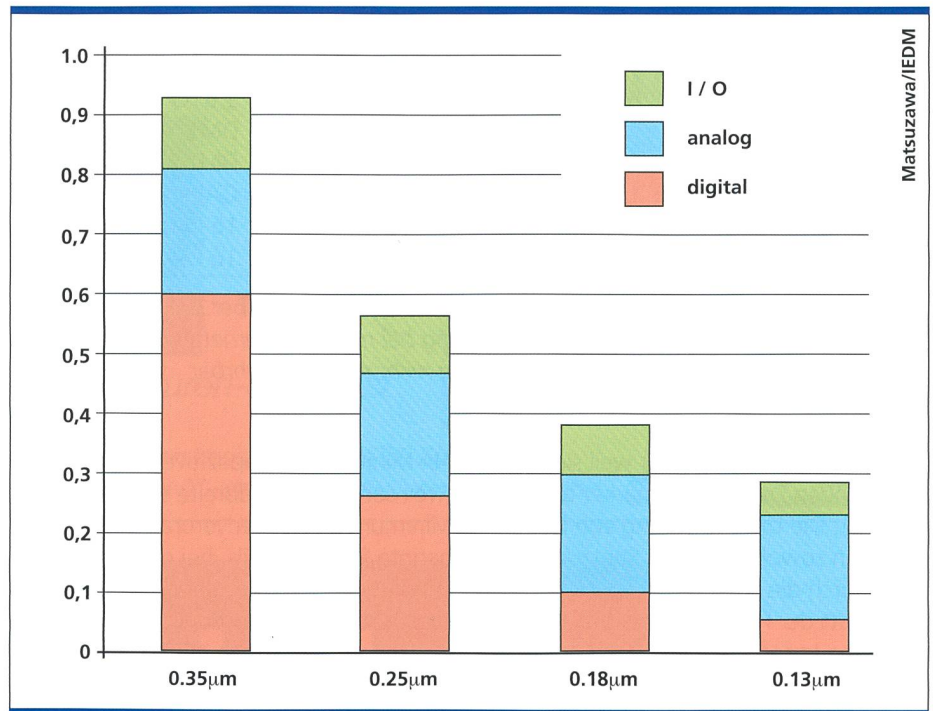


Bild 8. Analoge Schaltungsteile bei Systems-on-Silicon (SoS) lassen sich nicht in dem Mass «shrinken» wie die digitalen Brüder. Das führt dazu, dass analoge Schaltungsteile zunehmend die Kosten auf künftigen Chips bestimmen werden.

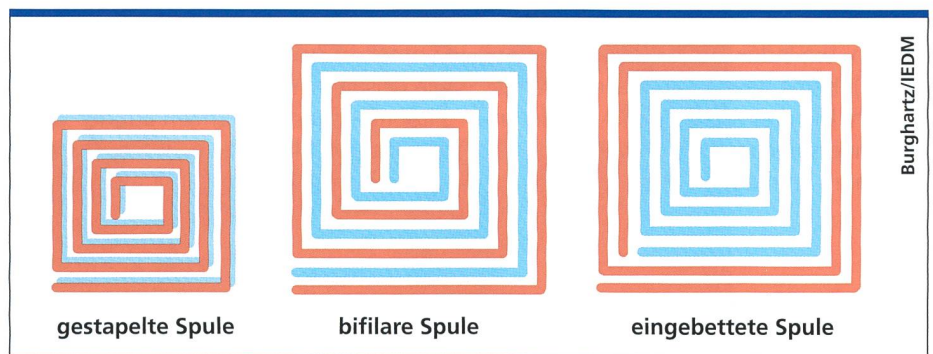


Bild 9. Die Integration passiver Bauelemente in Siliziumchips muss vorangetrieben werden. Über 200 passive Bauelemente befinden sich heute noch in einem Mobilfunk-Handgerät. Insbesondere die Integration von Induktivitäten ist schwierig.

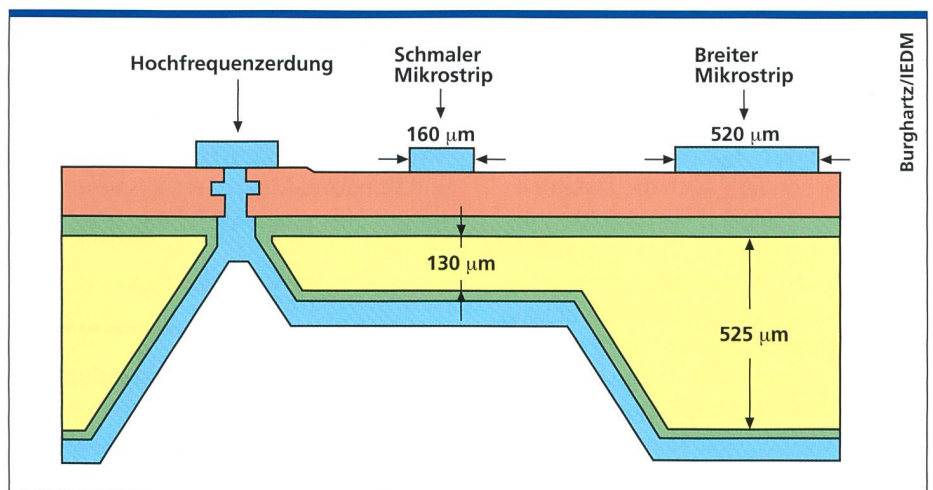


Bild 10. Mit steigenden Frequenzen muss man die parasitären Kopplungen in den Griff bekommen, die beispielsweise für Nebensprechen «zuständig» sind.



Name	Throughput	Line Code	
ISDN	160 kbit/s	2 B1Q	
HDSL	800 kbit/s	2 B1Q	
ADSL	600 kbit/s/6,4 Mbit/s	DMT	
ADSL.lite	400 kbit/s/1,5 Mbit/s	DMT	
VDSL	13/26/52 Mbit/s	CAP or DMT	
HDSL	1,544 Mbit/s	16 PAM	Chem/IEDM)
SHDSL	160 kbit/s ~ 4 Mbit/s	16 PAM	

Tabelle 1. Die stürmische Nachfrage nach mehr Bandbreite ist über ISDN hinweggerollt. Und da in Zukunft die Sprachübertragung bei mobiler Internetanwendung eher in den Hintergrund tritt, ist diese Entwicklung nicht mehr umkehrbar.

andere Sorge ist nicht neu, weil sie mit wachsenden Frequenzen stärker ausgeprägt ist: Die Unterdrückung von Nebensprechen sowohl über das Substrat als auch durch die Luft.

Aber statt der Hochfrequenz-inhärenten Probleme treten andere auf. Die für HF-Schaltungen benötigten, integrierten passiven Bauelemente können in ihren Qualitätsstandards nur eingeschränkt mit den Halbleiterbauelementen Schritt halten. Integrierte Induktionsspulen und kleine Transformatoren sind davon besonders betroffen. Es gibt mehrere Methoden, um Induktivitäten zu integrieren (Bild 9). Keine davon erfüllt alle Erwartungen. Die drei wichtigsten Anforderungen widersprechen sich teilweise: ein Maximum an magnetischer Kopplung,

ein Minimum an kapazitiver Kopplung (weil sonst die Bandbreite sinkt) und ein Minimum an Flächenverbrauch. So genannte Stacked Coils, bei denen die Windungen räumlich überlagert sind, stellen noch den besten Kompromiss dar und liefern auch noch bei 10 GHz brauchbare Ergebnisse.

Mit den zunehmenden Frequenzen kommen den parasitären Kapazitäten wachsende Bedeutung zu. Das gilt nicht nur für die Gehäusetechnik der Bauelemente, sondern auch für die Verluste des Substrats. Neue Aufbautechnologien könnten in Zukunft eine Rolle spielen, wie beispielsweise Microstrips auf dem Silizium – dünne Leitungen auf der Vorderseite des Chips, die geerdete Gegenstücke in der Tiefe des Siliziums oder

auch auf der Wafer-Rückseite haben (Bild 10). Dabei müssen Leitungsbreite und Abstand des geerdeten Streifens in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen. Die MEMS werden mit der wachsenden Frequenz der Internetdienste eine grössere Bedeutung erlangen, sei dies als Hochfrequenzschalter, mechanische Resonatoren, variable Kondensatoren, aber auch für die Gehäuse- und Montagetechnik. Mit Flip-Chip-Montage lassen sich zwar die hohen Induktivitäten der Bonddrähte verringern. Auf der anderen Seite aber handelt man sich damit auch zunehmend Hochfrequenz-Wechselwirkungen zwischen den Chips und den Leiterplatten ein.

### Alle schon mal dagewesen?

Die Physik ist noch immer die gleiche wie vor fünfzig Jahren und die Probleme sind auch geblieben. Hatte man nicht schon seinerzeit mit Nebensprechen, kapazitiver Kopplung und Leitungsverlusten gekämpft? Nur schien es so, dass die Mikroelektronik wegen ihrer winzigen Abmessungen mit den damaligen Problemen weniger zu tun hat. Jetzt hat die Erde uns wieder. Die um das tausendfache höheren Frequenzen lassen die alten Probleme erneut in den Vordergrund treten – trotz der Tausend Mal kleineren Abmessungen. 10

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

### Leicht-Handy mit veränderbarer Form

Der britische Handy-Hersteller Sendo hat ein 98 g leichtes Handy auf den Markt gebracht, das sich vom Besitzer in Design und Form fast vollständig verändern lässt. So ist nicht nur das Gehäuse austauschbar, sondern auch die Tastaturmatte. Das Dualband-Handy S200 soll vor allem Jugendliche ansprechen und wird daher als Prepaid-Modell angepriesen. Das Gerät verfügt über alle üblichen Standards und zusätzlich über Features wie SMS, Picture Messaging, animierte Menüführung, fünfzig Klingeltöne, grafischen Equalizer, Konferenzschaltung und blaue Tastenbeleuchtung. Der Akku schafft bis zu drei Stunden Dauergespräch und maximal 300 Stunden Stand-by. Das S200 wird in den Farben

Midnight, Ink-Blue, Frosty-Mint und Pepper-Red in Europa ausgeliefert. Der Preis liegt bei 180 Franken. Noch in diesem Jahr will der britische Hersteller das erste Triband-Handy mit dem Microsoft-Betriebssystem «Stinger» auf den Markt bringen. Das Z100 kann MP3- und Windows-Media-Files abspielen und verfügt über eine USB-Schnittstelle.

Homepage: [www.sendo.co.uk](http://www.sendo.co.uk)

### Multifunktionaler Terminal-Adapter

Der deutsche Anbieter von Internet-Zugangs- und Computergrafiklösungen Elsa hat einen Multifunktions-Terminal-Adapter für Internetzugang via ISDN vorgestellt. MicroLink ISDN Office bietet High-Speed-Internet-Zugang mit bis zu

128 kbit/s, Faxfunktionalität, einen digitalen Anrufbeantworter und Telefonfunktion. Das Gerät empfängt Fax- und Sprachnachrichten auch bei ausgeschaltetem Computer. Mittels eines integrierten 4-MByte-Flash-Speichers können bis zu siebzig Seiten Fax oder fünfzehn Minuten Sprachnachrichten aufgezeichnet werden. Eingehende Nachrichten werden vom Terminal durch LEDs angezeigt. Die Bedienung des Geräts erfolgt durch ein Tastenfeld am Gehäuse. Das Terminal verfügt über zwei analoge Schnittstellen, an denen unter anderem analoge Telefone angeschlossen werden können und eine USB-Schnittstelle. Das MicroLink ISDN Office ist für 395 Franken erhältlich.

Homepage: [www.elsa.de](http://www.elsa.de)





## Freie Hand für mehr Effizienz



Ihr Sprechgarnituren-Spezialist

Suprag AG, Friedackerstrasse 14, CH-8050 Zürich  
Tel. 01-317 20 60, Fax 01-310 20 60, <http://www.suprag.ch>

**Suprag**

# World Class DWDM

## Wavelength Measurement



WA-1660 WAVEMETER  
Optisches Wellenlängen-Messgerät

WA-7600 Multi-line WAVEMETER  
Optischer Kanal Analysator

Misst die absolute Wellenlänge bei einer Genauigkeit von  $\pm 0.3$  pm

Gleichzeitige Messung der optischen Leistung

Präzise Charakterisierung der aktiven / passiven DWDM Komponenten

Präzise Analyse von DWDM Systemen

**burleigh**

An EXFO Company

[WWW.CCONTROLS.CH](http://WWW.CCONTROLS.CH)

Your Specialists for Semiconductor, Test & Measurement and Communication & Network

**COMPUTER CONTROLS AG**

Components  
Instruments  
Telecom

Neunbrunnenstr. 55 8050 Zürich Tel 01 308 66 66 Fax 01 308 66 55 Internet <http://www.ccontrols.ch>  
Rte. de Lausanne 1400 Yverdon-les-Bains Tél 024 423 82 00 Fax 024 423 82 05 [romand@ccontrols.ch](mailto:romand@ccontrols.ch)