Fazit des Markt&Technik-Forumsgesprächs: Die CMOS-Technik wird erst in zirka 15 Jahren an ihre Grenzen stoßen

Alternativen zu Silizium haben fast keine Chance

Wohin bewegt sich die Zukunft der Mikroelektronik? Werden wir auch in Zukunft allen Hindernissen zum Trotz auf Silizium setzen können? Welche Alternativen bieten sich an, und welche Möglichkeiten gibt es aus heutiger Sicht, um aus Silizium die letzten Performance-Reserven herauszukitzeln?

Einig waren sich die Diskussionsteilnehmer am Markt&Technik-Forum »Zukunft der Mikroelektronik« vor allem in einem Punkt: Silizium bleibt auf absehbare Zeit das Maß der Dinge.

Zwar werden in der Elektronikbranche immer mal wieder Alternativen diskutiert, und die Presse stellt eindrucksvolle Untersuchungen und Projekte vor, »doch letztendlich«, so Günter Müller von Philips Semiconductors, »machen wir doch alle seit 30 Jahren CMOS, wer erwartet da ernsthaft, dass da ein Konkurrent hochkommt?«

Ähnlich sieht das auch Dr. Werner Weber, Infineon Technologies: »Unsere Industrie ist quasi eingerastet, es fließen so viel Mittel in die Weiterentwicklung von CMOS, da kann gar keine alternative Technologie hochkommen.« Auch wenn alternative Technologien vom Prinzip her besser wären, könnten sie sich gegen CMOS nicht durchsetzen, »weil sie gar nicht das Volumen hätten, das notwendig wäre, um den nötigen Entwicklungsaufwand zu tragen«.

Der jährliche Produktivitätsfortschritt bei CMOS liegt immer noch bei 25 Prozent. Das heißt: Dasselbe Maß an Funktionalität kostet im nächsten Jahr ein Viertel weniger. Für Dr. Weber, Infineon, ist CMOS deshalb noch lange nicht am Ende: »CMOS befindet sich immer noch in einem exponentiellen Wachstum.« Prof. Erich Barke von der Universität Hannover stimmt dem zwar im Großen und Ganzen zu, »schließlich kostet ein Bit heute gerade noch ein Millionstel Cent«, doch rechnet er für die Zukunft mit einem asymptotischen Ausklingen der CMOS-Ära: »Bisher haben wir die CMOS-Technik immer weiter extrapoliert und dabei Probleme überwunden, die Anfangs unlösbar schienen«, so seine Einschätzung, »aber alles deutet darauf hin, dass auch die Weiterentwicklung dieser Technologie einmal asymptotisch enden wird«.

Zu Prüfsteinen der Silizium-Technik könnten sich etwa in absehbarer Zeit die rasch wachsenden Abwärmeprobleme entwickeln. Weitere Probleme zeichnen sich in der Materialtechnik ab oder auf dem Gebiet des Schaltungsdesigns, Stichwort Design-Gap. So weist die jüngste Technologie-Roadmap der ITAS erstmals ausdrücklich darauf hin, dass der Fortschritt der Mikrosystemtechnik eingebremst werden könnte, wenn die Schaltungsdesigner nicht in der Lage sein sollten, in sinnvoller Zeit das zu designen, was ihnen die Prozesstechnologien ermöglichen.

Einig sind sich der Universitätsprofessor Barke und Dr. Weber von Infineon insofern, als die Verbesserungen in der Halbleitertechnik in der Vergangenheit in den seltensten Fällen sprunghaft erreicht wurden, sondern fast immer durch allmähliches Optimieren. Ein Paradebeispiel hierfür ist für den Infineon-Manager der Metallisierungskomplex: Über Jahre hinweg seien immer neue Lagen hinzugekommen, um die Performance der Schaltungen erhöhen zu können. Ähnlich verhält es sich mit dem Thema »Kupfer«: »Wenn manche Leute das heute als großen Durchbruch darstellen, dann ist das blanker Unsinn, weil natürlich jeder in der Branche wusste, dass Kupfer bessere Eigenschaften als Aluminium hat«, formuliert er zur Erheiterung der übrigen Diskussionsteilnehmer, »nur hat es eben keiner eingesetzt, solange es nicht unbedingt nötig war, weil man sich damit natürlich auch Nachteile einsammelt, wie etwa die Kontaminierung der Fertigung.« Dass es auch noch andere Machbarkeitsgren- ▶

Teilnehmer des Forums

Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Wolf, Heinz Nixdorf-Lehrstuhl für Medizinische Elektronik, Technische Universität München (TUM)

Günter Müller, Manager Software und Multimedia Systems Labor Hamburg (SLH)

Dr. rer. nat. Werner Weber, Senior Director Corporate Research, Infineon Technologies

Engelbert Hopf, Markt&Technik

Prof. Dr.-Ing. Erich Barke, Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme Universität Hannover IMS

Peter Wintermayr, Markt&Technik

Dr. Henning Wicht, Wicht Technologie Consulting, WTC (v.l.n.r.)

zen bei Silizium gibt, musste Prof. Wolf von der TU München feststellen, als er mit Infineon einen bioanalytischen Chip realisieren wollte. Dabei ging es weniger um Fragen der Strukturbreite, schließlich hätte ein 1-µm-Prozess zur Realisierung völlig ausgereicht, als vielmehr um Schwierigkeiten, die sich aus der Geometrie der Schaltung ergaben. Prof. Wolf gibt aber auch zu, dass er sich die Umsetzung vor dem Hintergrund bereits existierender CMOS-Sensor-Chips vielleicht zu einfach vorgestellt hat. Entscheidend bei der Umsetzung solcher Konzepte, so Dr. Weber, ist für den Halbleiterhersteller die Frage, wie weit er zur Realisierung von existierenden Standard-CMOS-Prozessen abweichen muss. Schon kleine Abweichungen ziehen eine eigene Prozessentwicklung und Qualifizierung nach sich. »Anwendungen, die per se eine komplexe Prozessentwicklung benötigen, aber nur vergleichsweise kleine Stückzahlen erlauben«, so Dr. Weber, »fallen damit zumindest in der Großindustrie leider unter den Tisch.«

An welchen Stellschrauben ist zu drehen, wenn die sich abzeichnenden Hindernisse auf der Technologie-Roadmap der Silizium-Technik beseitigt werden sollen? Entscheidend ist hier die Prozesstechnik. Deshalb wird derzeit intensiv an der Entwicklung von Materialien mit einer höheren Dielektrizitätskonstante als dem herkömmlichen Siliziumdioxid gearbeitet. Siliziumdioxid ist inzwischen bei einer Dicke von nur noch 1,2 µm angekommen. Wird diese Dicke unterschritten, können Tunneleffekte auftreten. Als möglicher Ersatz zeichnet sich Tantalpentoxid ab. Dieses Material ließe sich dicker auftragen, würde aber den gleichen Durchgriff vom Gate auf den Kanal erlauben.

Ein weiteres Problem stellt die in Zukunft wahrscheinlich deutlich variierende Einsatzspannung der Transistoren dar. Spätestens bei Strukturbreiten von 50 nm könnte das zum Problem werden. Diese Variationen kommen daher, erläutert Dr. Weber, dass es bei der Implantation zu stochastischen Verteilung der Implantationsatome kommt. Letztlich laufen die Anstrengungen, hier einen Ausweg zu finden, zurzeit darauf hinaus, undotierte Devices zu verwenden.

Günter Müller, Philips Semiconductors

» Fast alles in der Halbleiterbranche konzentriert sich seit 30 Jahren auf die CMOS-Technologie, wie sollte da eine Konkurrenztechnologie überhaupt ernsthaft eine Chance haben sich zu etablieren? «

Beim Thema Lithographie hören die heutigen Voraussagen beim 50-nm-Knoten auf. Dafür, so Dr. Weber, gibt es heute noch keine Lösung. Als Lösung denkbar sei sowohl eine Elektronenstrahl- als auch eine Röntgenstrahl-Lösung. Eine Lösung für dieses Problem muss in den kommenden vier Jahren gefunden werden, dann erreicht die Technologie-Roadmap den 50-nm-Knoten. Diese Einschätzung teilt auch Müller: »Wir werden 2006 Prototypen mit 65-nm-Strukturbreite haben, spätestens zwei Jahre danach ist dann mit dem Erreichen der 50-nm-Schwelle zu rechnen«.

Drehen die Entwickler aber die Versorgungsspannung der Transistoren zu sehr nach unten, kommt es zu Problemen mit Off-Strömen, weil die Unterschwellen-Charakteristik der Transistoren eben eine gewisse Steigung aufweist. »Da kommen wir nicht drunter«, resümiert Dr. Weber, »weil wir einen gewissen Hub benötigen, um den Transistor ein- und auszuschalten«. Gelingt das nicht perfekt, fließen Leckströme. Hier gibt es nach Auskunft der Diskussionsteilnehmer interessante Entwicklungen bei Double-Gate-Strukturen: Im Prinzip geht es dabei darum, die Einsatzspannung abhängig von der Substratspannung zu modifizieren. »Wenn wir jedoch den nächsten Knoten auch ohne diese Technologie schaffen, dann werden wir sie nicht einsetzen«, ist sich Dr. Weber von Infineon sicher.

Prof. Erich Barke, Universität Hannover

» Der Fortschritt der Mikroelektronik wird spürbar eingebremst werden, wenn die Schaltungs-Designer zeitlich nicht mehr mit der Weiterentwicklung der Prozesstechnologien Schritt halten können. «

Das Bestreben, Dinge nur dann zu verändern, wenn es sich überhaupt nicht mehr vermeiden lässt, zieht sich wie ein roter Faden durch die Entwicklung der Mikroelektronik. Auch die Kupfertechnologie sei schließlich später gekommen, als ursprünglich angenommen, meint Dr. Weber, »und mit der Silicon-on-Insulator-Technologie sind wir schon wieder in der selben Situation, weil jeder angesichts der Kosten, die mit ihrer Einführung verbunden sind, davor zurückschreckt.«

Als weitere Probleme auf der Roadmap nennt der Infineon-Manager Noise-Probleme für eine Zellladung unter 20 nm. Es sei technisch notwendig, eine bestimmte Ladung auf einen Speicherknoten zu geben, diese Ladung dürfe eigentlich nicht verringert werden. Kommt es trotzdem zu einer Unterschreitung dieser Schwelle, können Fehlbewertungen auftreten. Das Problem bestehe nun darin, einerseits die Strukturen immer kleiner zu machen, andererseits aber immer das gleiche Ladungsniveau beibehalten zu müssen. Vor diesem Hintergrund gibt es in der Branche Stimmen, die davor warnen, dass es bei Strukturbreiten zwischen 50 und 20 nm zur Problemen mit dem Kondensator in der dynamischen Speicherzelle kommen könnte, wenn es nicht gelingt, die notwendige Zellladung zu erhalten. Eine simple Methode dies zu schaffen, besteht für Dr. Weber darin, auf andere Speicherzellen wie etwa nichtflüchtige Gain-Zellen umzusteigen.

Vor dem Hintergrund dieser Aufzählung weist Prof. Barke noch einmal darauf hin, das diese Probleme ja an sich nicht neu seien, sie nur eben mit der fortschreitenden Miniaturisierung der CMOS-Technik immer virulenter werden. »Wenn ich die Versorgungsspannung runterfahre, wird damit natürlich meine Störsicherheit geringer, und ich muss mir die Signale immer genauer ansehen«, stellt er fest, »wir wiederholen uns da evolutionär«. Das Thema Dielektrikum charakterisiert für ihn in geradezu exemplari- ▸

scher Weise das Verhalten der Mikroelektronikbranche. »Jahrelang wurde nichts anderes als Siliziumdioxid verwendet, weil es fast nichts kostet, wunderbar leicht aufwächst und stabile, mechanische Eigenschaften aufweist«, so der Professor. Nun werde auf einmal unterschiedliches Dielektrikum benötigt: Material mit hohem Epsilon (High-k), wenn es darum geht, große Kapazitäten zu realisieren, und Material mit Low-k wenn man auf der anderen Seite des Leitungssystems genau das Gegenteil von hohen Kapazitäten benötige.

Was sind aus heutiger Sicht die Alternativen zur klassischen Silizium-Technik? Ein Zauberwort, das immer wieder auftaucht ist die Polymer-Elektronik, die gedruckte Elektronik. Ihre Einsatzmöglichkeiten scheinen fast unbegrenzt zu sein, sie reichen vom intelligenten Tag auf dem Joghurtbecher über flexible Displays, den Einsatz im Smart-Clothes-Bereich bis zu Speicherzellen, deren Transistoren in Polymertechnik aufgebaut sind. Geschrieben wird zu diesem Thema viel, doch was halten die Elektronikexperten von dieser Alternative?

Dr. Henning Wicht, WTC

» Es ist durchaus möglich, dass die Polymerelektronik bis zu ihrer Markteinführung ihre potentiellen Kostenvorteile gegenüber Silizium-Lösungen im Zuge eines Technologiewettbewerbs noch verliert. «

Bei Philips, so Müller, konzentrieren sich die Anstrengungen zur Polymerelektronik fast ausschließlich auf den Display-Anwendungsbereich. Diesem Einsatzsegment widmet man sich bereits seit 1999. Inzwischen, berichtet Müller, gibt es erste Prototypen, und es wird daran gearbeitet, die drei Primärfarben für farbige Displays zu verwenden. Einsatzmöglichkeiten sieht der Philips-Manager neben dem Handy- und PDA-Bereich vor allem für Weiße und Braune Ware.

Eine andere Möglichkeit zum Einsatz der Polymerelektronik hat Philips mit der Entwicklung von gedruckten Tags für die Gepäcklogistik der Lufthansa entwickelt. Einen Massenmarkt für solche Produkte sieht Müller im Ersatz des klassischen Strichcodes auf Verpackungen. Hier kann es jedoch nach seinen Erfahrungen zu Problemen mit Licht und Feuchtigkeit kommen. Hinzu kommt, dass die Elektronenbeweglichkeit in solchen Systemen teilweise zu niedrig ist.

Prof. Wolf weist in diesem Zusammenhang vor allem auf die mangelnde UV- und Knickbruchbeständigkeit der Polymerelektronik hin. »Wenn wir das dann alles kompensieren, sind wir letztlich wieder bei Silizium, weil das eben einfach stabiler ist«, fasst er seine Erfahrungen mit dem alternativen Material zusammen.

In der Biopolymerelektronik, so der Professor, komme noch ein weiteres Problem hinzu: »Biopolymere sind nur solange stabil, solange sie in Invivo-Systemen untergebracht sind.« Biologie sei eben nur solange stabil und biete ein großes Maß an Funktionalität, solange sie lebe. Wenn man versuche, daraus ein Konstrukt zu machen, werde die Lebensdauer stark verkürzt. »Eine von der Industrie geforderte jahrelange Funktionalität ist auf diese Weise nicht zu erlangen«.

Dr. Werner Weber, Infineon Technologies

» Die Polymerelektronik stellt weniger eine Konkurrenz zu klassischen Silizium-Lösungen dar. «

Auch für Prof. Barke stellt die Polymerelektronik keine Alternative zu Silizium dar, sie sei allenfalls in Nischen einsetzbar. Dr. Henning Wicht, WCT, hält dem entgegen, das jede Technologie im Grunde in der Nische anfange. Für die Polymerelektronik sprechen seiner Ansicht nach vor allem die potenziell niedrigen Kosten und die gegenüber Silizium deutlich größere Formfreiheit. Neben Displays und Tags sieht er zukünftige Einsatzmöglichkeiten vor allem in der Biosensorik, der Fotovoltaik, bei den optischen Verstärkern, aber auch im Memory-Bereich. So verweist er darauf, dass es dem MIT inzwischen gelungen sei, entsprechende Speicher-ICs zu realisieren. Die Untersuchungen der Amerikaner eröffneten durchaus die Möglichkeit, in Zukunft Milliarden von Transistoren in gedruckter Ausführung zu realisieren. Dr. Wicht unterstreicht aber auch, dass es sich um einen Technologiewettbewerb handelt, und sich aus heutiger Sicht eben nur schwer sagen lässt, ob die Polymerelektronik ihre potenziellen Kostenvorteile gegenüber Silizium-Lösungen bis zur ihrer Einführung nicht doch wieder verspielen wird.

Dass es zu einem echten Konkurrenzkampf zwischen Polymerelektronik und Silizium-Lösungen kommen könnte, glaubt auch Dr. Weber nicht: »Wenn diese Technologie wirklich einmal mit Silizium auf dessen ureigenstem Gebiet, der Bündelung einer Vielzahl von Funktionalitäten, konkurriert«, so seine Einschätzung, »dann ist die Polymerelektronik eindeutig im Nachteil«. In bestimmten Nischen dagegen, wo die Zahl der benötigten Transistoren klein sei, die geforderte Performance sich im unterem Bereich bewege und zudem ein heftiger Kostendruck herrsche, könne diese Technologie hingegen sehr wertvoll sein. Um eine Rahmenbedingung für den Einsatz von Polymerlösungen deutlich zu machen, nennt Dr. Weber noch einmal die Zielvorgabe für einen Einsatz als elektronisches Preisschild und Informationsträger im Supermarkt: 1 Cent. Gelingt es, das zu erfüllen, so Dr. Weber, könnte sich die Polymerelektronik ein Anwendungsfeld erschließen, denn die heute verwendete Barcode-Lösung sei ja schließlich keine elektronische Lösung. Von einer Konkurrenz zu Silizium könne trotzdem keine Rede sein, eher von einer technologischen Ergänzung.

Haftet der Polymerelektronik noch immer der Ruf des Neuen, Innovativen, Hoffnungsvollen an, so ist aus der Optoelektronik inzwischen die Luft raus. Hatten sich im Zuge des Tele- und Datenkommunikations-Hypes in der zweiten Hälfte der 90-er Jahre klassische Mikroelektronik-Unternehmen und Startups geradezu mit Innovationen im Optoelektronik-Bereich überschlagen, so ist

Prof. Bernhard Wolf, Technische Universität München

» Mit einem mikrophysologischen Chip ließe sich nicht nur der Metabolismus von Tumorzellen messen, sondern auch die Reaktion des Gewebes auf verschiedene Chemotherapeutika untersuchen. «

dieses Marktsegment nach Aussage von Dr. Wicht seit gut zwei Jahren relativ tot. Es wird zwar weiter entwickelt und geforscht, mit einer wirklichen Erholung des Marktes scheint kurzfristig aber niemand zu rechnen. »Die Euphorie ist raus aus diesem Thema«, stellt der Mikroelektronik Consultant fest, »die Frage ist jetzt, was kommt als nächstes, Komponenten mit Übertragungsraten von 3,5, 10 oder 40 GBit/s«? Er selbst sieht derzeit keine Anwendungen, die nach solchen Komponenten verlangen würden.

Welche Möglichkeiten der Zusammenführung von klassischer Siliziumtechnik und Optoelektronik noch bestehen, hat Ende 2002 STMicroelectronics gezeigt. Dem Unternehmen ist es gelungen, LEDs aus Silizium herzustellen, die in Zukunft zur Datenübertragung verwendet werden sollen. Die neue Technik ermöglicht es, optische und elektrische Funktionen auf ein und demselben Siliziumchip zu integrieren. Zum Patent angemeldet hat STMicroelectronics inzwischen eine Struktur, in der zwei Schaltungen, die sich zwar auf demselben Chip befinden, aber durch isolierendes Siliziumdioxid galvanisch voneinander getrennt sind, über Licht-Emitter und -Detektoren auf Silizium-Basis miteinander kommunizieren. Langfristig wollen die ST-Entwickler versuchen, optische Datenverarbeitungssysteme in höher integrierte Schaltkreise einzusetzen.

Die Optoelektronik werde mit Sicherheit noch weiter in die Regionen der Mikroelektronik vordringen, so Dr. Weber. Dass optische Schaltungen elektronische Schaltungen einmal ersetzen könnten, hält er jedoch für unwahrscheinlich. Philips beschäftigt sich mit der Thematik, nach Darstellung von Müller vor allem im Bereich der Kfz-Elektronik. So werden in bestimmten MOST-Applikationen Plastikfasern verwendet, die Übertragungsgeschwindigkeit liegt bei 22 MBit/s. Glasfasern werden im Automobilbereich bislang nur im Firewire-Sektor eingesetzt, in diesem Bereich dreht sich alles um Informationsübertragung nach 1394B. Der Kampf zwischen dem kostengünstigeren Kupfer und Glas sei in diesem Bereich aber noch nicht entschieden, betont Müller. Für einen besonders interessanten Aspekt der Optoelektronik hält Müller den Bereich der optischen Verstärker. Lösungen dieser Art, die ohne Silizium auskommen, würden sich hervorragend für Regeneratoren eignen.

Eine weitere interessante Technologie für künftige Mikroelektronik-Entwicklungen stellt das Forschungsgebiet der Carbon-Nanotubes dar. So hat Infineon erst vor kurzem einen aus Carbon-Nanotubes bestehenden Interconnect vorgestellt, der auf einer vorbestimmten Stelle aufgewachsen ist. Die Infineon-Forscher hoffen mit dieser Entwicklung die Performance zwischen den Vias verbessern zu können. Nötig sein wird das nach Einschätzung von Dr. Weber spätestens ab 30-nm-Knoten, da sich die Metallperformance dann stark verschlechtere. Für Prof. Barke stellen Nanotubes ein äußerst interessantes Thema dar: »Die elektrische Leitfähigkeit, die Wärmeleitfähigkeit und die Stromtragfähigkeit der Carbon-Nanotubes ist gut«, stellt er fest, »und die Technologie funktioniert problemlos bei Raumtemperatur«.

Wenn es um die Zukunft der Mikroelektronik geht, dann drehen sich die Diskussionen nicht nur um neue Technologien, sondern auch um die Frage, welche Bereiche des täglichen Lebens als nächstes von der Mikroelektronik durchdrungen werden könnten. Nachdem Tele- und Datenkommunikation weitgehend digitalisiert sind, der Automobilbereich bereits von mikroelektronischen Lösungen durchdrungen ist, bietet sich die Medizintechnik als Zukunftsmarkt für Mikroelektronikspezialisten an. Zwei Begriffe, die dabei immer häufiger auftreten, sind »Lab-on-Chip-Systeme« und der »DNA-Chip«.

Den DNA-Chip-Lösungen, wie sie inzwischen von einigen Halbleiter-Unternehmen vorgestellt und angekündigt worden sind, dürfte nach Einschätzung von Prof. Wolf vor allem im Bereich der Hygiene und der Bakteriologie Erfolg beschieden sein. Auch bei weniger komplexen Erkrankungen, wenn es darum geht festzustellen, ob nun ein bestimmter Erreger in der Probe vorhanden ist oder nicht, sei der Einsatz solcher Chips durchaus sinnvoll. Gelänge es Unternehmen wie Infineon, die herkömmlichen DNA-Testsysteme zur Hälfte durch mikroelektronische zu ersetzen, könnten sie daran mit Sicherheit ganz gut verdienen.

Möglichkeiten, die Halbleitertechnik zur Analyse im medizinischen Bereich einzusetzen, sucht Prof. Wolf von der TU München. An seinem Institut wurde bereits ein mikrophysiologischer Chip entwickelt, der den Metabolismus von Tumorzellen messen sollte. Damit ließe sich zum einen über den optischen Effekt Schattenrisse von Zellen, zum Zweck der Konturauflösung ermitteln und andererseits der pH-Wert von Zellen oder ihre Sauerstoffbilanz ermitteln. »Wenn sie dann noch die Elektroden richtig beschalten«, erläutert Prof. Wolf sein Konzept, »können sie auch noch ein Chemotherapeuthikum dazugeben und beobachten, wie die Zelle drauf reagiert«. Letztlich sei das Projekt aber vorerst an bestimmten Miniatursierungsproblemen gescheitert.

Entscheidend für den künftigen Markterfolg von DNA-Chips und Lab-on-a-Chip-Systemen dürfte die Frage nach Konkurrenztechnologien sein. »Wir haben vor kurzem im Auftrag des LETI eine Marktanalyse für ein Lab-on-Film-Konzept durchgeführt«, berichtet Dr. Wicht, »die Reaktion der Befragten war dabei recht eindeutig: Zwar finden sie die Technik interessant, und sie würde auch deutlich Kosten sparen, die potenziellen Kunden haben aber bereits massiv in eine andere Technologie, nämlich Mikrotitter-Platten, investiert und werden diese Technologie in den nächsten Jahren beibehalten«. Ähnlich schätzt auch Prof. Wolf die Situtation ein, »in den letzten Jahren wurde gewaltig in solche Systeme investiert und damit muss man den Ersatzbedarf abwarten, der wahrscheinlich erst in fünf Jahren kommen wird«.

Einig waren sich die Diskussionsteilnehmer am Ende in der Einschätzung, dass für alle elektronischen Lösungen in Zukunft der Easy-to-use-Gedanke oberste Priorität hat. Es hilft halt nichts, die feinsten elektronischen Lösungen in Silizium zu gießen, wenn der Anwender am Schluss ein Handbuch braucht, um seine zum Empfang von Nachrichten geeignete Armbanduhr zu programmieren oder den kommunizierenden Kühlschrank in den vernetzten heimischen Haushalt einzufügen.

Die Möglichkeiten, durch Mikroelektronik dem Menschen das Leben zu erleichtern, scheinen auch in Zukunft fast unbegrenzt zu sein. Es müsse jedoch, so das Fazit der versammelten Mikroelektronik-Experten, eine Rückfallposition in elektronische Systeme eingefügt werden, die es erlaubt, auch ohne sie gut weiterleben zu können. Oder, wie Dr. Weber es formuliert: »Es darf nicht so weit kommen, dass uns der elektronische Türöffner aussperren kann, nur weil es keine Schlüssel mehr gibt«. (eg) ■