

**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:** 85 (1994)

**Heft:** 21

**Artikel:** Spitzenforschung im Verbund Hochschule-Industrie : das Schwerpunktprogramm Lesit bringt Hochschule und Industrie näher zusammen : 3. Teil : Mikrosensorik und Telekommunikation

**Autor:** Steiner, Franz-Peter / Baltes, Henry / Kemper, Jürgen

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902617>

### **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:** 14.01.2026

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

Die Spezialgebiete Mikrosensorik und mobile Kommunikation bieten der Schweizer Wirtschaft enorme Chancen. Durch ihre industrielle Struktur ist die Schweiz prädestiniert, einer der wichtigsten Anbieter auf dem bis zum Jahr 2000 weltweit auf über 50 Milliarden Franken anwachsenden Sensormarkt zu werden. Die mobile Kommunikation andererseits stellt mit 20% jährlichem Wachstum das am stärksten zunehmende Segment im Kommunikationsmarkt dar. Diese Chancen kann die Schweiz aber nur nutzen, wenn es gelingt, die notwendigen Kompetenzen frühzeitig aufzubauen und zu verteidigen, denn dieser riesige Markt zieht auch internationale Grosskonzerne an.

# Spitzenforschung im Verbund Hochschule-Industrie

**Das Schwerpunktprogramm Lesit bringt Hochschule und Industrie näher zusammen**  
**3. Teil: Mikrosensorik und Telekommunikation**

■ Franz-Peter Steiner, Henry Baltes, Jürgen Kemper, Peter Leuthold, Walter Blumer, Georg Klaus, Heinrich Baggenstos, William Patrick, Werner Bächtold, Zlatko Sitar und Peter Günter

Das nationale Schwerpunktprogramm Lesit (Leistungselektronik, Systemtechnik und Informationstechnologie) hat zum Ziel, die weltweite Spitzenstellung der Schweiz auf den für unser Land lebenswichtigen Teilgebieten der Leistungselektronik, der Systemtechnik und der Informationstechnologie zu halten. Dies soll erreicht werden, indem die vorhandenen Kompetenzen ausgerichtet und die über das ganze Land verstreute Infrastruktur durch einen Entwicklungsverbund optimal genutzt wird. Im ersten Teil dieses Artikels über das Schwerpunktprogramm Lesit wurden die Motivation und Organisation von Lesit sowie das wissenschaftspolitische und industrielle Umfeld erläutert. Ein zweiter Beitrag (Teil 2) befasste sich schwerge- wichtig mit der Leistungselektronik, sei es auf der Ebene der Halbleiter-Bauelemente, der Schaltungen oder ganzer Systeme; diese Thematik wird in den Lesit-Modulen

1, 2 und 3 sowie 9 behandelt. Der vorlie- gende Teil 3 ist nun der Mikrosensorik (Modul 4), dielektrischen Sensormateria- lien (Modul 8) sowie den Arbeiten auf dem Gebiet der mobilen Kommunikation (Mo- dul 5), der Mikrowellen-Elektronik und der Elektromagnetischen Verträglichkeit (Modul 6) gewidmet. Referenz [1] gibt einen Überblick über die zur Halbzeit be- reits vorliegenden Resultate der einzelnen Module.

## Integrierte Mikrosensoren

Sensoren wandeln physikalische oder chemische Grössen in elektronische Signa- le um, bilden den Eingang von Mess- und Regelsystemen und versehen Computer und Roboter mit Sinnesorganen. Die Schweiz gilt aufgrund ihrer industriellen Struktur als Sensorland par excellence. Sensortechnik ist die grosse Chance für viele kleine und mittlere Unternehmen (KMU).

## Sensorentwicklung im Team Hochschule, Anwender und Hersteller

Es ist besonders anspruchsvoll, Senso- ren und was dazu an Schaltungstechnik un- umgänglich ist, gemeinsam auf einem Chip

**Adressen der Autoren und Kontaktadressen\*:**  
 Dr. Franz-Peter Steiner\*, Lesit-Geschäftsführer, und Prof. Dr. Henry Baltes\*, Lesit-Programmdirektor, Labor für Physikalische Elektronik, ETH Höngger- berg, 8093 Zürich, Dr. Jürgen Kemper und Prof. Dr. Peter Leuthold\*, Institut für Kommunikationstechnik, ETH Zentrum, 8092 Zürich, Walter Blumer, Dr. Georg Klaus, Prof. Dr. Heinrich Baggenstos\*, Dr. William Patrick und Prof. Dr. Werner Bächtold\*, Institut für Feldtheorie und Höchst- frequenztechnik, ETH Zentrum, 8092 Zürich, sowie Dr. Zlatko Sitar und Prof. Dr. Peter Günter\*, Institut für Quantenelektronik, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich.



zu vereinen. Dazu genügt es nicht, die Regeln der Kunst der Mikroelektronik zu beherrschen. Die Physik und Chemie des Sensors selbst bieten ein vielfältiges Betätigungsfeld für Wissenschaftler und Ingenieure. Gerade aus diesem Grund stellen integrierte Mikrosensoren ein ideales Objekt für die enge Zusammenarbeit von Industrie und Hochschule dar.

Das von einem der Autoren (Prof. Henry Baltes) geleitete Lesit-Modul 4 befasst sich mit Mikrosensoren, welche sich mit herkömmlichen Fabrikationstechnologien für integrierte Schaltungen (IC) herstellen lassen. Entsprechend der Lesit-Philosophie erfolgt die Entwicklung der neuen Sensoren in enger Zusammenarbeit mit einem Industriepartner, welcher bereits in der Konzeptionsphase seine Bedürfnisse und Visionen einbringt. Bei der Bildung der Projektteams wurde speziell darauf geach-

tet, nicht nur Anwender und Hochschule, sondern auch einen potenten Hersteller für die gemeinsamen Arbeiten zu gewinnen. Nicht zurückgezogen im Labor wird die neue Sensorgeneration entwickelt, sondern auf den für die spätere Produktion vorgesehenen Anlagen – anfangs auf Multiprojektwafern (MPW), später mit eigenen Maskensätzen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass sich die Ideen der Forscher schliesslich auch in Produkte umsetzen lassen [2].

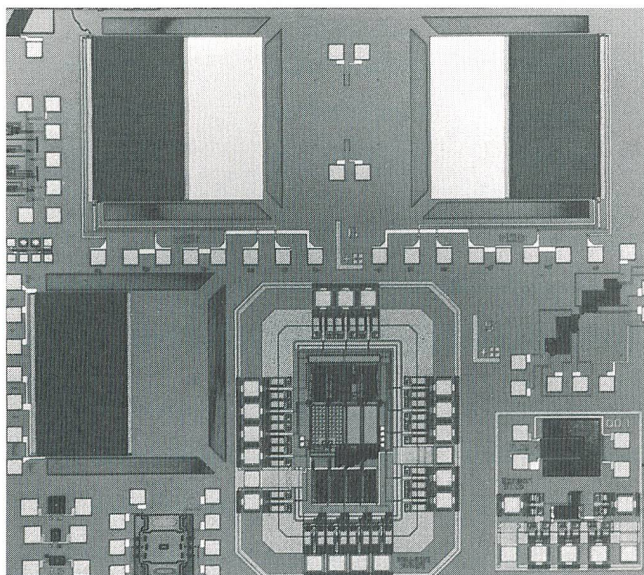
### Infrarotsensoren in CMOS-Technologie

Ein erstes Beispiel dieser erfolgreichen Zusammenarbeit von Hochschule, Anwender und Hersteller ist der in CMOS (Complementary metal oxide semiconductor)-Technologie gefertigte Infrarotdetektor. Bild 1 zeigt den aus zwei

Sensormembranen bestehenden Detektor mit dem mitintegrierten, rauscharmen Verstärker.

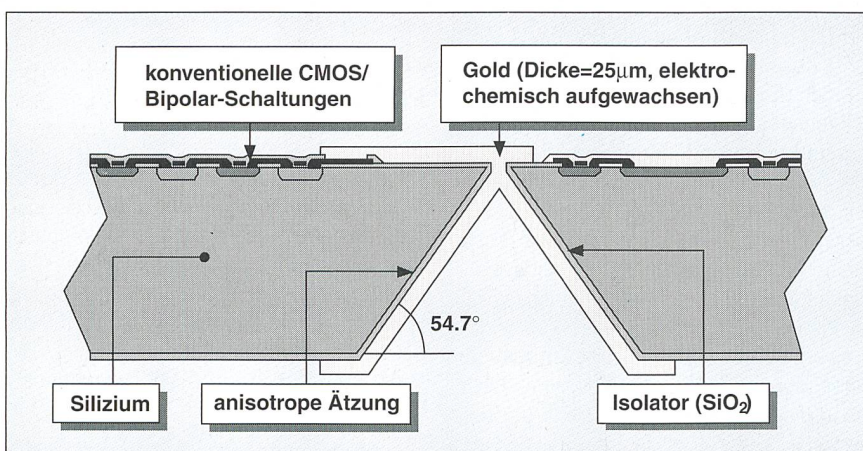
Der Vorteil einer monolithischen Kombination von Mikrosensorik und Mikroelektronik besteht dabei in der Möglichkeit, die Signalaufbereitung und Digitalisierung der Messgrössen nahe am Ort des Geschehens vorzunehmen und dadurch Störeinflüsse zu minimieren. Gleichzeitig kann aber auch die Leistungsaufnahme niedrig gehalten werden, was besonders für batteriebetriebene Sensorsysteme von grosser Wichtigkeit ist. Selbstverständlich ist eine derartige Lösung zudem in der Regel billiger.

Der oben erwähnte Infrarotdetektor wurde vor kurzem von EM Microelectronic-Marin, dem bekannten Hersteller der Swatch-Uhren-Chips, als Pilotlos auf 6-Zoll (150 mm)-Substraten produziert. Am Labor für Physikalische Elektronik der ETH Zürich wurden die Wafer anschliessend weiterprozessiert, denn die Membranen müssen nach dem CMOS-Prozess mit KOH (Kalilauge) freigeätzt werden. Auch dieser Prozessschritt ist bereits zur Produktionsreife entwickelt, so dass das Know-how an den Chiphersteller transferiert werden kann. In einem weiteren Schritt gilt es nun, zusammen mit dem Anwender, der Firma Cerberus in Männedorf, die Kapselung des neuen Sensors zu entwickeln. Zudem sollen die Detektoren verschiedenen Härte-tests unterzogen werden.



**Bild 1 Doppelmembran-Struktur als Infrarot-detektor**

Die Membranen haben eine Fläche von je ungefähr 1 mm<sup>2</sup>. In der Mitte unten ist der mitintegrierte rauscharme Verstärker zu sehen.



**Bild 2 Querschnitt einer Durchkontaktierung durch einen Silizium-Chip nach dem WaferStak-Verfahren**

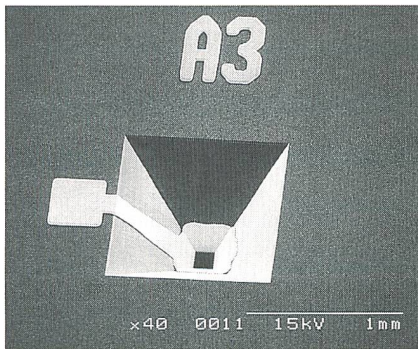
Im fertig prozessierten CMOS-Chip werden von der Rückseite durch anisotropes Ätzen in KOH (Kalilauge) kleine Öffnungen freigelegt. Auf diese Weise wird der Aufbau eines elektrischen Kontaktes zwischen Vorder- und Rückseite des Wafers ermöglicht, ohne grosse Teile der wertvollen Chipfläche zu verschwenden.

### Dreidimensionale Chipverbindungen

Mit steigender Integrationsdichte mikroelektronischer Schaltungen gewinnt die dritte Dimension immer mehr an Bedeutung, denn der technologische Aufwand wird immer grösser und teurer und droht bald an physikalische Grenzen zu stossen. Eine neuartige Methode, noch mehr Funktionen oder mikroelektronische Zellen im zur Verfügung stehenden Volumen unterzubringen, wird ebenfalls am Labor für Physikalische Elektronik entwickelt. Das unter dem Namen WaferStak patentierte Verfahren ermöglicht, mehrere Chips, Waferstücke oder gar ganze Wafer aufeinander zu stapeln und mittels elektrischer Durchkontaktierungen miteinander zu verbinden (Bild 2). Damit lassen sich zum Beispiel Datenspeicher hoher Dichte herstellen: Datenmengen von 1 Gigabyte könnten damit in einer PCMCIA-Karte, kaum grösser als eine Kreditkarte, untergebracht werden. Doch auch für Sensorsysteme lassen sich mit dieser Methode neue Möglichkeiten ausschöpfen.

Eine derartige Technologie ist jedoch nur dann von industrieller Relevanz, wenn sich damit konkurrenzfähige Produkte realisieren lassen. In enger Zusammenarbeit mit EM Microelectronic-Marin und Ceram,



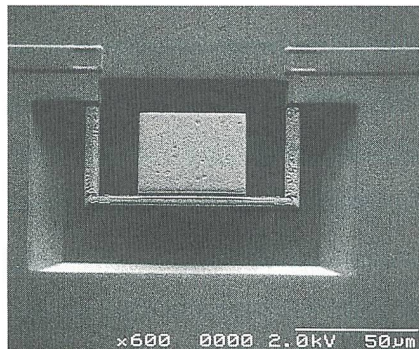


**Bild 3** Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Durchkontaktierung, von der Rückseite des Chips her gesehen

Um die Kapazität des Kontaktes zu vermindern, wurde die Oberfläche des Kontaktes auf eine dünne Verbindungsleitung reduziert. Eine weiterentwickelte Technologie wird in nächster Zukunft ermöglichen, auch mehrere derartige Verbindungen durch eine einzelne Öffnung zu ziehen.

Colorado Springs (USA), konnte ein kostengünstiges Produktionsverfahren entwickelt werden. Mit geringen Änderungen können sogar bereits in der Produktion verwendete Designs stapelbar gemacht und damit die Funktionalität erhöht werden. Gerade dieser Aspekt ist, im Lichte der explodierenden Kosten moderner Halbleitertechnologien, nicht unterzubewerten.

Die im Laufe dieses Projektes zu lösenden Probleme umfassen unter anderem



**Bild 4** Mikrospiegel für Projektionsanwendungen

Der Mikrospiegel ist an zwei elastisch verformbaren Balken aufgehängt. Ober- und Unterseite der Balken dehnen sich bei Beheizung durch die im Balken untergebrachten Polysilizium-Heizleitungen verschieden aus, da sie aus Materialien mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten bestehen; dadurch bewirken sie eine Drehbewegung des Spiegels.

das thermische Management solcher Stapel, Photolithographie dreidimensionaler Strukturen (Bild 3), selektive Abscheidung von Gold und die Verlotung ganzer Stapel.

#### Modellierung und Simulation von Mikrosystemen

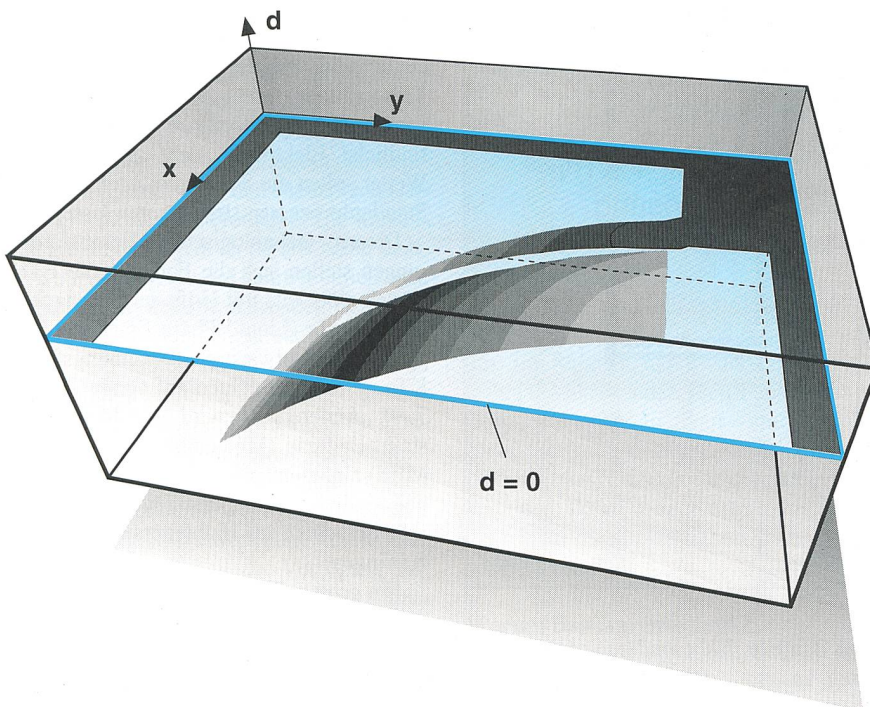
Es dauert mehrere Wochen, bis ein Halbleiterhersteller die in Auftrag gegebenen Wafer fertig prozessiert hat. Anschliessend müssen die einzelnen Sensoren und Schal-

tungen ausgemessen und auf ihre Funktionstüchtigkeit hin überprüft werden. Bereits kleine Fehler oder Unzulänglichkeiten des Designs können sich in den oft komplexen Mikrosystemen fatal auswirken. Die Faktoren Zeit, Kosten und Komplexität der Systeme verlangen deshalb in steigendem Masse nach computerunterstütztem Engineering und Design. Der Mikrosystem-Ingenieur soll in der Lage sein, verschiedene Designs auf dem Computer zu testen, bevor die erfolgversprechendsten davon produziert werden.

Das am Institut für Physikalische Elektronik der ETH Zürich entwickelte Simulationspaket *Solidis* ist in der Lage, die für die Modellierung integrierter Mikrosysteme wichtigen gekoppelten Differentialgleichungen sehr effizient zu lösen. Es erlaubt nicht nur die thermische, elektrische und mechanische Strukturanalyse, sondern berücksichtigt auch die Kopplung dieser Effekte untereinander. Durch die Modellierung der physikalischen Effekte, welche dem Sensor zugrunde liegen, kann bereits in der Entwurfsphase am Bildschirm die Einsicht gewonnen werden, welche Faktoren die Empfindlichkeit und die Performance des neuen Bauelementes bestimmen. Dadurch können neue Richtlinien für den Entwurf formuliert werden (Bilder 4 und 5).

#### Charakterisierung von Mikrosensormaterialien

Um neue Mikrosensoren realitätsnah modellieren zu können, müssen die charakteristischen Materialparameter bekannt sein. Dünne Schichten haben zudem meist Kennwerte, die sich von denjenigen des massiven Materials (Bulk) unterscheiden. Auch lassen sich die Eigenschaften der in der Halbleitertechnologie verwendeten Materialien durch Variation der Prozessparameter zum Teil stark verändern. Um zum Beispiel thermisch angeregte Bauelemente wie den in Bild 4 gezeigten Mikrospiegel simulieren zu können, muss die thermische Leitfähigkeit der verwendeten Schichten genau bekannt sein. Am Labor für Physikalische Elektronik wurden deshalb Teststrukturen entwickelt, mit Hilfe derer die Herstellprozesse charakterisiert und die Materialparameter für die Computersimulation bestimmt werden können (Bild 6).



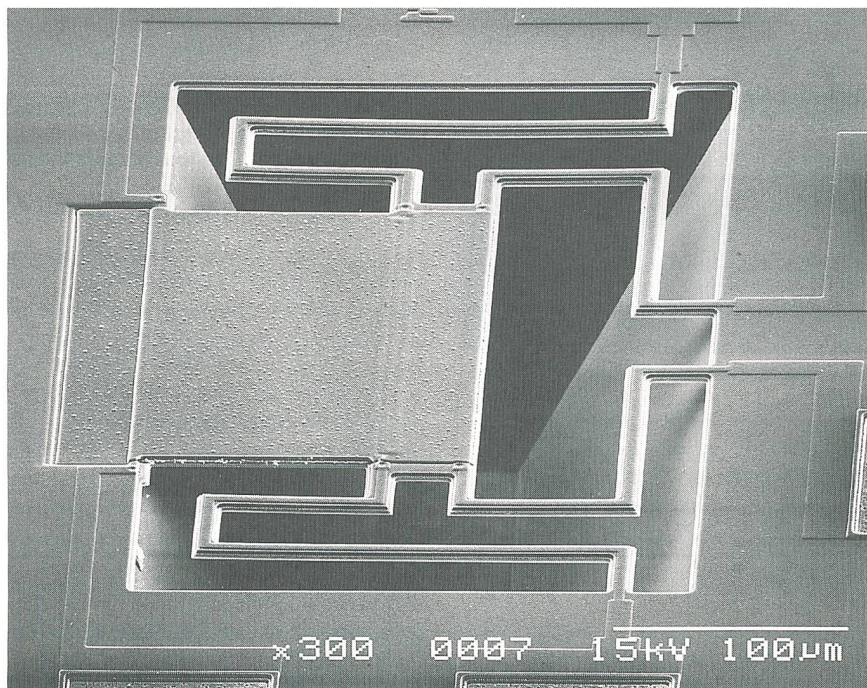
**Bild 5** Resultat der Simulation des thermomechanischen Verhaltens des Mikrospiegelsystems vor seiner Optimierung

Dunkle Flächen zeigen die Stellen mit einer kleinen Auslenkung  $d$  aus der Ruhelage; je heller eine Fläche ist, um so stärker ist sie nach oben oder unten ausgelenkt. Dieses Resultat der Computersimulation mit dem Simulations- und Modellierpaket *Solidis* zeigte, dass beim ursprünglichen Design ein Wärmestau auf dem Spiegel entsteht, was zu einer unerwünschten Wölbung der Spiegelfläche selbst führt. Die elektronenmikroskopische Aufnahme in Bild 4 zeigt ein aufgrund dieser Erkenntnisse verbessertes Design.

#### Neue Materialien für Sensoren

Auch auf dem Gebiet der Materialtechnologie wird intensiv geforscht. Neue Sensorprinzipien werden oft durch neue Materialien erst ermöglicht. Im Rahmen des Lesit-Moduls 8 befasst sich eine Gruppe

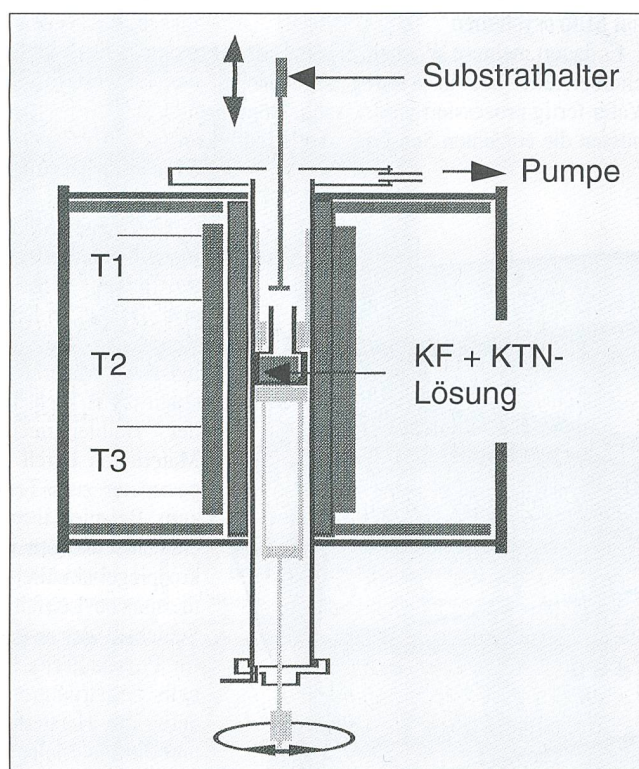




**Bild 6** Mikrostruktur zur Bestimmung der thermischen Leitfähigkeit von CMOS-Metallisierungsschichten  
Andere Strukturen wurden für die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Polysilizium-, Oxid- und Passivierungsschichten entwickelt.

**Bild 7** Schematischer Aufbau einer Flüssigphasen-Epitaxieanlage

Durch die drei getrennten Temperaturzonen T1, T2 und T3 wird eine stabile Temperaturverteilung am Ort der Kaliumfluorid(KF)- und  $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ (KTN)-Lösung erreicht. Das an einem Halter angebrachte Substrat wird in die Lösung getaucht, bis die gewünschte Schichtdicke aufgewachsen ist.



am Institut für Quantenelektronik der ETH Zürich (Leitung: Prof. Peter Günter) intensiv mit ferroelektrischen Schichten. Solche Materialien reagieren auf gewisse äussere Einflüsse durch eine Änderung der Polarisation, welche direkt in ein Strom- oder Spannungssignal umgewandelt werden kann. Dadurch bietet sich die Verwendung derartiger Schichten für mikroelektroni-

sche Bauteile, insbesondere spezielle Sensoren, an.

## Dünnschichttechnologie für Ferroelektrika

Gewisse ferroelektrische Kristalle wie zum Beispiel Lithiumtantalat ( $\text{LiTaO}_3$ ), Kalium-Tantal-Niobat ( $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ ) oder Bariumtitanat ( $\text{BaTiO}_3$ ) zeigen einen

starken piezoelektrischen und pyroelektrischen Effekt und sind deshalb für eine Vielzahl anderer Sensoranwendungen interessant. Bis anhin war man darauf angewiesen, Schichten derartiger Materialien aus den entsprechenden Kristallen herauszuschneiden und mechanisch mit dem die Treiberelektronik enthaltenden Siliziumchip zu verbinden. Hierzu werden zwar keine teuren und komplexen Anlagen benötigt, dieses Vorgehen ist jedoch sehr ineffizient, nicht sehr reproduzierbar und schränkt die Leistungsfähigkeit der auf diese Weise gebauten Sensoren ein.

## Aufwendige Technologieentwicklung

Dünnschichttechnologie kann diesen Missständen abhelfen und ist zudem für die Herstellung miniaturisierter Bauelemente bestens geeignet. Es ist allerdings alles andere als einfach, ein gewünschtes Material auf einem Substrat abzuscheiden und dabei dünne Schichten von vergleichbarer Qualität und Eigenschaften wie der Kristall als Ganzes zu erzielen. Erschwerend kommt bei den ferroelektrischen Verbindungen hinzu, dass die gewünschten Schichten aus völlig unterschiedlichen Materialien bestehen, die zu Beginn des Prozesses sogar in verschiedenen Aggregatzuständen vorliegen.

Verschiedene Bedingungen müssen zur erfolgreichen Herstellung derartiger Sensorschichten erfüllt sein. Um ausgeprägte pyro- und piezoelektrische Eigenschaften zu erzielen, sollten die Schichten monokristallin sein. Sie dürfen nur bei niedrigen Temperaturen (unter  $500^\circ\text{C}$ ) aufgebracht werden, um die bereits auf den Chips befindliche Elektronik nicht zu zerstören. Weiter sollen die Sensorschichten sich mit Standardprozessen strukturieren lassen.

Diesen technologischen Herausforderungen stellen sich die Forscher der ETH Zürich einerseits mit Hilfe der Flüssigphasen-Epitaxie (Liquid Phase Epitaxy, LPE) für das Aufwachsen spannungsfreier  $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ -Schichten auf Oxide (Bilder 7–9). Andererseits wird die Molekularstrahl-Epitaxie (Molecular Beam Epitaxy, MBE) eingesetzt, um heteroepitaktisch und bei niedrigen Temperaturen ferroelektrische Schichten auf Halbleitersubstrate aufzubringen.

Ein grosser Teil der Arbeiten wurde für die Entwicklung von Prozessen und Anlagen für das optimale Aufwachsen ferroelektrischer Schichten aufgewendet. Auch der industrielle Partner, die Optoelektronik-Division von Sandoz, hat in dieses Projekt investiert und eine spezialisierte Kristallzuchtanlage mit entsprechender Analytik und Apparaten für das Schneiden und Polieren von Kristall-Wafern installiert.



## Telekommunikation

Seit langer Zeit hat die Funktechnik in der Schweiz eine grosse Bedeutung. Kein anderes Segment im Kommunikationsmarkt wächst ähnlich schnell wie die mobile Kommunikation. Selbst mittelfristig muss nicht mit einer Stagnation dieser Entwicklung gerechnet werden. Dieser sich rasant entwickelnde Markt zieht jedoch auch internationale Grosskonzerne an. Die enge Zusammenarbeit zwischen schweizerischen Firmen und der ETH, die über jahrelange Erfahrung im Bereich kryptografischer Techniken verfügt und wichtige Erfolge auf dem Gebiet der Mikrowellen- und Gigabit-Elektronik vorzuweisen hat, ist ausserordentlich wichtig, um diese Entwicklungen mitzugestalten und in wirtschaftliche Erfolge unserer Industrie umzusetzen. Vor allem die schweizerische PTT sowie Ascom und IBM arbeiten auf diesem Gebiet unter Lesit mit den Hochschulen zusammen. Vermehrt erweist es sich jedoch auch für die Wirtschaft als notwendig und fruchtbar, mit zusätzlichen Industriepartnern im übrigen Europa zusammenzuarbeiten.

## Neuartige Mobilfunksysteme der übernächsten Generation

Im Mobilfunksektor ist in jüngster Zeit ein markanter Technologiesprung zu verzeichnen. Die Einführung von Natel D, der Schweizer Version des paneuropäischen Mobilfunksystems GSM (Global System for Mobile Communication) mit digitaler Sprachsignalübertragung, wird erlauben, nicht nur in der Schweiz, sondern auch im Ausland – oder genauer gesagt in den Cept-Ländern (Europa ohne den ehemaligen Ostblock) – mobil zu telefonieren. Die Kapazitätsgrenzen sind jedoch bereits heute deutlich abzusehen; es wird kaum möglich sein, damit den weiter anwachsenden Bedarf an mobiler Kommunikation auch nur annähernd abzudecken. So lässt sich ausgehend von der Beliebtheit der drahtlosen Telefone im Heimbereich eine Entwicklung im industriellen oder kommerziellen Bereich voraussehen: Zusätzlich zum Telefon mit der vollen Funktionalität von ISDN (Integrated Services Digital Network) am Arbeitsplatz wird ein mobiler Teil zur Verfügung stehen, welcher auch ausserhalb der Firma mitgeführt werden kann und dem Benutzer einen signifikanten Teil der Funktionen des stationären Anschlusses zur Verfügung stellt. In Zukunft geht es auch darum, mobile Dienste anzubieten, die bisher drahtgebundenen Systemen vorbehalten waren. Dies gilt beispielsweise für Multimedia-Anwendungen.

Solche neuartigen Systeme können nicht einfach auf dem Prinzip der drahtlosen

Bild 8 Regelkreis für eine flussgeregelte Verdampfung in der Molekularstrahl-Epitaxieanlage  
QMS Quadrupolmassenspektrometer

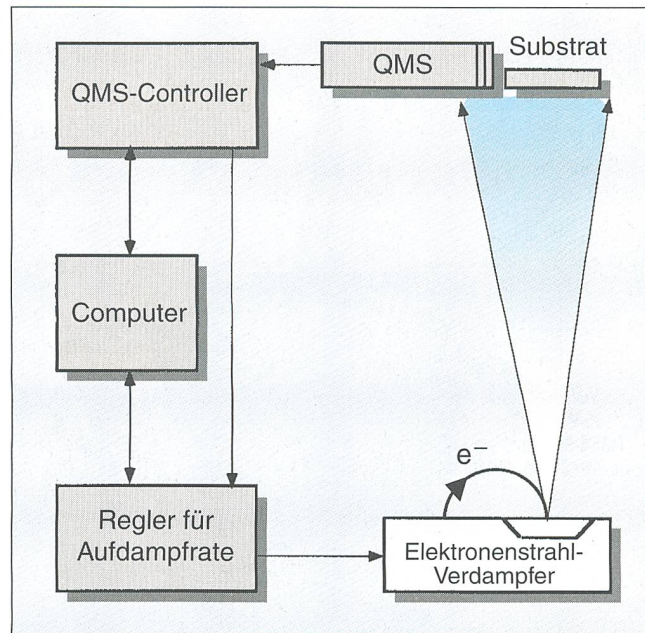
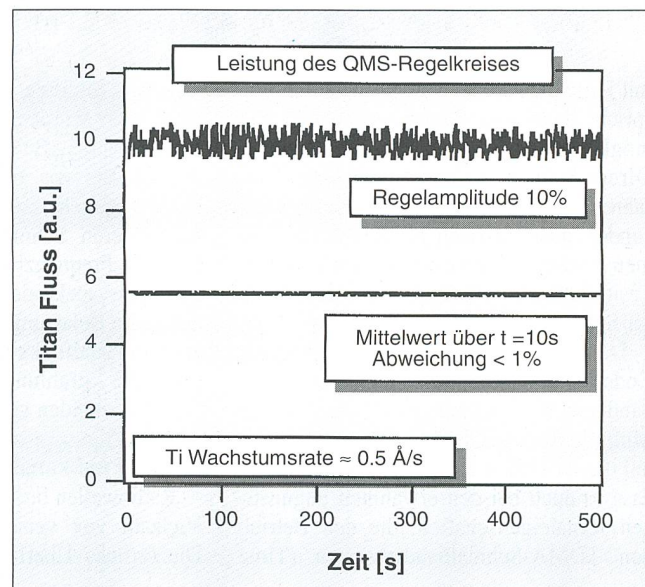


Bild 9 Eigenschaften des QMS-Regelkreises



Telefone basieren. Vielmehr geht es darum, im Rahmen der modernen Zellulartechnik Mikro- oder Pico-Funkzellen in Gebäuden oder «outdoor» mit entsprechend leistungsfähigen Zugriffs- und Übertragungsverfahren aufzubauen und zu betreiben. Dabei werden extreme Anforderungen an die Störfestigkeit und Verfügbarkeit gestellt.

## Warum Bandspreiztechnik?

Die neue Systemgeneration wird wohl kaum mit dem im Natel D maximal vorgesehenen Informationsfluss von 22,8 kBit/s auskommen. Für das Angebot mobiler ISDN-Dienste wären vier- bis zehnfach höhere Bitraten realistisch. Infolge der damit zusammenhängenden, stark vergrösserten Signalbandbreite kommen dann nur noch Übertragungsbänder im GHz-Bereich in

Frage, beispielsweise bei 1,8, 2,4 oder auch 64 GHz. Hier muss die entsprechende Technologie für die sende- und empfangsseitigen Frontends bereitgestellt werden. Ein weiterer Problemkreis ergibt sich aus dem Umstand, dass die Funkkanaleigenschaften in Abhängigkeit vom Ort und damit von der Bewegung des mobilen Systemteils, aber auch als Funktion der Bewegung von Personen oder Gegenständen im Wellenausbreitungspfad stark variieren können. Dies äussert sich in teilweise massiven Einbrüchen der Feldstärke innerhalb weniger Wellenlängen und durch frequenzselektives Fading, so dass die auch bei hohen Bitraten immer noch relativ schmalbandigen Radiosignale gedämpft oder gar ausgelöscht werden können.

Eine sehr wirksame Gegenmassnahme stellt die spektrale Spreizung der Signale



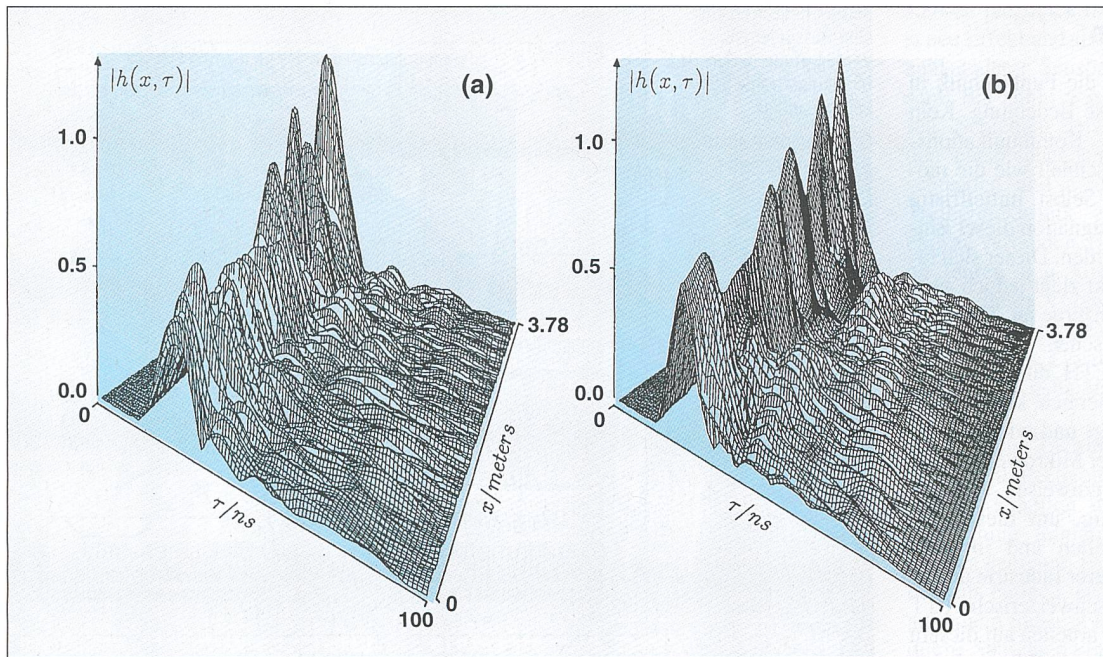


Bild 10 Berechnung der Übertragung für Indoor-Funkkanäle

Gemessener (a) und berechneter (b) Verlauf des Betrags des komplexen Stossantwortwort  $|h(x, \tau)|$  entlang einer geraden Wegstrecke  $x$  (Verzögerung  $\tau$ ).

mit Hilfe pseudozufälliger Codes dar. Man spricht dann von Bandspreiztechnik. Ein mögliches Spreizverfahren, das sogenannte Direct-Sequence-Spread-Spectrum-Verfahren (DS-SS) wird gegenwärtig als besonders aussichtsreich betrachtet. Im Rahmen des informationstechnischen Teils von Lesit steht die Untersuchung solcher DS-SS-Systeme im Vordergrund.

Durch geeignete Wahl verschiedener Codes lässt sich das belegte Übertragungsband mehrfach ausnützen (Code-Division Multiple Access, CDMA). Ein grosser Vorteil dieses Verfahrens besteht zudem darin, dass es auch bei den erwähnten ungünstigen Kanaleigenschaften, die den Betrieb von TDMA-Schmalbandsystemen (Time

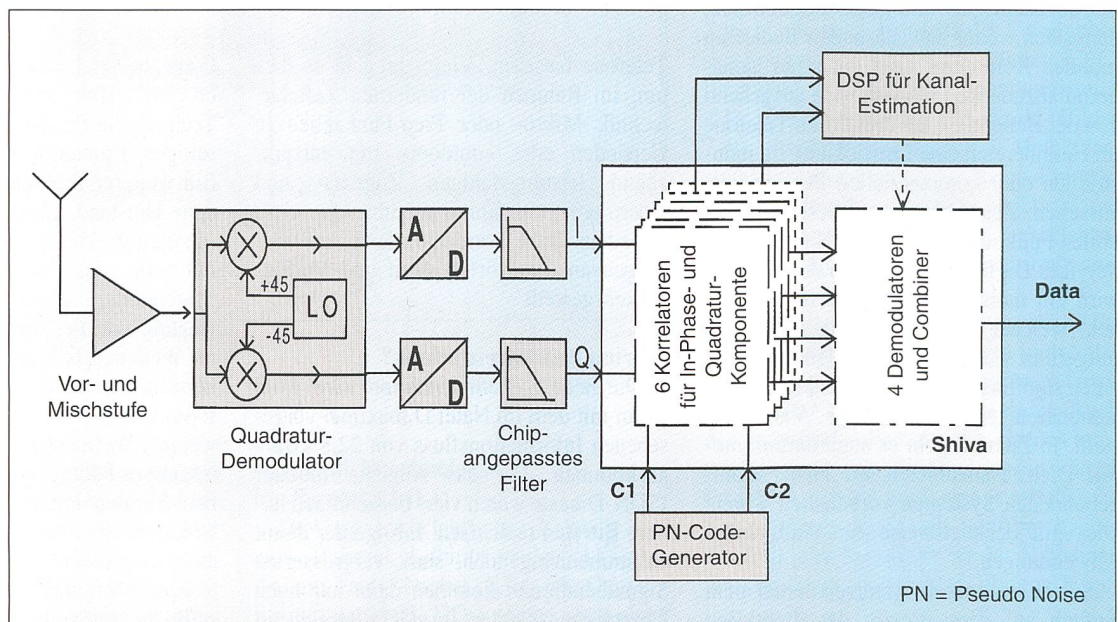
Division Multiple Access) bereits vermöglichen würden, noch störungsfrei arbeitet. Weitere wichtige Gründe, die für den Einsatz von Bandspreizsystemen mit CDMA sprechen, sind die Verträglichkeit mit anderen Schmalbandfunkdiensten im gleichen Frequenzband und die wesentlich geringere spektrale Leistungsdichte, wodurch die Belastung des Kopfes der Benutzer von Handfunkgeräten durch elektromagnetische Strahlung signifikant reduziert wird (Vermeiden von sog. hot spots).

#### Indoor-Funkkanäle

Radiowellen breiten sich meist auf einer Vielzahl von verschiedenen Pfaden aus. Die örtliche Überlagerung der Teilwellen

führt zu einem inhomogenen Funkfeld. Die kleinen Abmessungen der Funkzellen in Gebäuden bewirken eine grössere Abhängigkeit der Feldverteilung von der speziellen Konfiguration. Zur Definition einer möglichst guten, flächendeckenden Funkversorgung müssen die Eigenschaften der Indoor-Funkkanäle messtechnisch erfasst und ausgewertet werden. Damit besteht einerseits die Möglichkeit, statistische und deterministische Kanalmodelle aufzustellen. Andererseits können ausgewählte, für bestimmte Gebäudearten typische Messreihen nach entsprechender Aufbereitung direkt in Simulationsprogramme von Übertragungssystemen eingebunden werden und erlauben eine Abschätzung der Über-

Bild 11 Blockscha eines Rake-Empfängers mit dem Baustein Shiva





tragungsqualität unter den gemessenen Bedingungen. Die Charakterisierung durch statistische Kanalmodelle ermöglicht eine theoretische Behandlung des Problems, ist aber zufolge der grossen Schwankungsbreite der relevanten Parameter nicht ohne weiteres in geschlossener Form möglich. Zudem versagen viele konventionelle Kanalmodelle, wenn Funkkanäle mit grosser relativer Bandbreite – wie im vorliegenden Fall – betrachtet werden.

Eine alternative Möglichkeit besteht darin, aufgrund der Raumgeometrie, der Standorte von Sender und Empfänger sowie mit Hilfe der bekannten Effekte wie Reflexion, Streuung, Beugung, Brechung und Depolarisation eine Vorhersage der Empfangsverhältnisse zu machen. Die Entwicklung solcher deterministischer Kanalmodelle stellt ein zentrales Anliegen aller Netzwerkbetreiber dar. Zur Bestimmung der Versorgungsgebiete benötigen sie ein zuverlässiges Werkzeug, das aufgrund digitaler topographischer und morphologischer Gelände- und/oder Gebäudedaten eine Prognose über die Ausbreitungsverhältnisse liefert. Das Aufstellen eines derartigen Modells ist sehr schwierig. Messungen, die neben den Amplituden, den Phasen und den Laufzeiten eine Bestimmung der Einfallrichtungen der Teilwellen ermöglichen, sind dabei von grossem Wert. Sie erlauben die Untersuchung der verschiedenen Ausbreitungspfade vom Sender zum Empfänger und damit eine quantitative Aussage über die Beeinflussung der Wellen durch einzelne Hindernisse.

Anhand vieler Vergleiche zwischen Messungen und Modellrechnungen entstand im Rahmen des Lesit-Forschungsprogramms ein deterministisches Funkkanalmodell auf der Basis der Strahlenoptik [3–5]. Dieses erlaubt ausser der Vorhersage der Signalfeldstärke die Bestimmung der Amplituden, der Phasen und der Laufzeiten der von den Wänden, der Decke und dem Boden hervorgerufenen Signalechos. Die in Bild 10 wiedergegebenen Grafiken zeigen den Verlauf der gemessenen und der vom Modell prognostizierten Stossantwort der Funkstrecke entlang einer geraden Wegstrecke von 3,78 m Länge. Die hier auftretenden Spitzen geben Aufschluss über Stärken, Lage und Laufzeit der einzelnen Signalechos. Die ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen Vorhersage und Messung ist aus diesen Darstellungen deutlich zu erkennen.

#### Der Rake-Empfänger – ein Schlüsselement bei Bandspreizsystemen

Die Bandspreiztechnik erlaubt – im Gegensatz zur Schmalbandübertragungstechnik – eine zeitliche Auflösung der Sendenergie in den einzelnen Ausbreitungspfa-

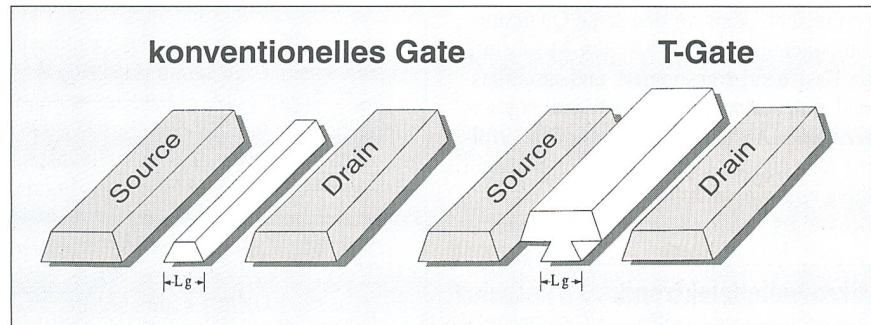


Bild 12 Transistor mit konventionellem Gate und Transistor mit T-Gate

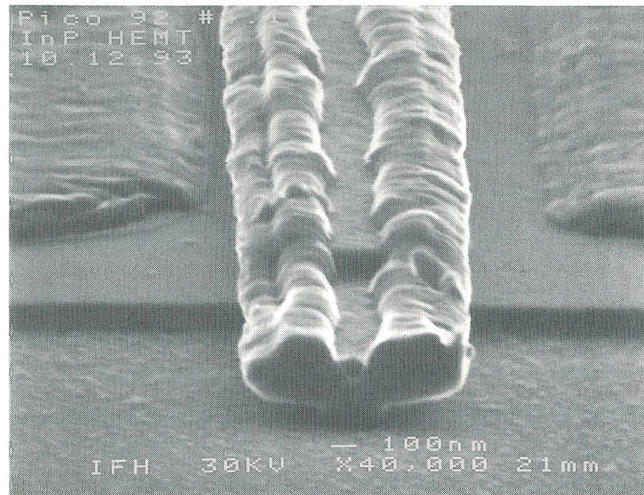


Bild 13 Elektronenmikroskopische Aufnahme eines InP-HEMT mit 0,25  $\mu\text{m}$  T-Gate-Länge

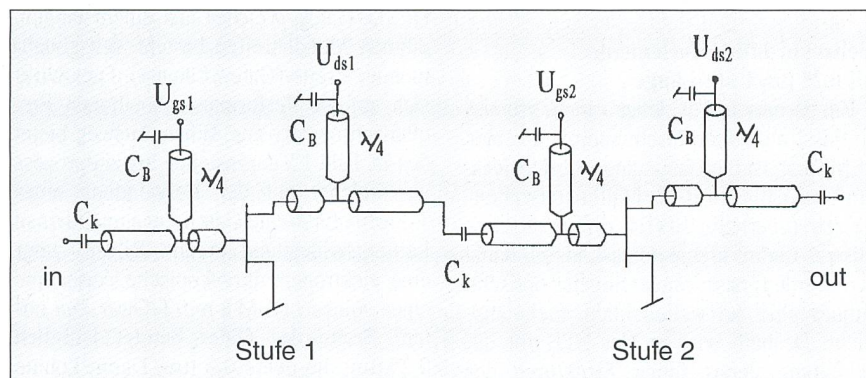


Bild 14 Schaltung eines zweistufigen InP-HEMT-Verstärkers

den, falls die entsprechenden Laufzeiten genügend voneinander abweichen. Hierzu wird das Empfangssignal mit mehreren, entsprechend verzögerten Versionen der gleichen Rückspreiz-Codesequenz zurückgespreizt und demoduliert. Die so gewonnenen Datensignale lassen sich dann am Ausgang der einzelnen Arme kombinieren. Man kann auf diese Weise die wesentlichen Anteile der auf unterschiedlichen Pfaden übertragenen Signalenergie zurückgewinnen und damit einen Diversity-Effekt erzielen.

Im Rahmen des Lesit-Forschungsprogramms werden Höchstfrequenzbausteine für Sender- und Empfänger-Frontends in GaAs-Technik realisiert. Ferner erfolgte zusammen mit dem Institut für Integrierte

Systeme und der Industrie die Entwicklung von Chipsätzen für die mit dem Rake-Empfang verbundene Signalverarbeitung [6]. Ein Asic-Baustein mit dem geheimnisvollen Namen «Shiva» enthält die Korrelatoren, Demodulatoren sowie das phasenrichtige Combining. Bei Shiva handelt es sich um einen Asic-Baustein in 1,5- $\mu\text{m}$ -Technologie mit einem Systemtakt von typisch 65 MHz und einer Verlustleistung von 700 mW. Die Arbeiten werden im Hinblick auf eine weitergehende Integration, den Einbau neuer Funktionen sowie auf eine Prototyp-Erstellung weitergeführt.

Bild 11 zeigt den Einsatz des Bausteins in einem Rake-Empfänger. Das Empfangssignal wird zunächst mit Hilfe eines Mischers in eine tiefere Frequenzlage hinun-



tergemischt, dann werden seine Quadraturkomponenten in einer zweiten Mischstufe ins Basisband transponiert und anschliessend einer Analog-Digital-Wandlung unterzogen. Die übrigen Operationen erfolgen rein digital. Dabei spielt der Baustein Shiva eine wesentliche Rolle.

## Mikrowellenelektronik

Eine neue Generation von Transistoren, sogenannte HEMT (High Electron Mobility Transistors) auf der Basis von Indiumphosphid (InP), gewinnt mehr und mehr an Bedeutung für schnelle Anwendungen im Bereich der Mikro- und Millimeterwellen. Als besondere Kennzahl dieser Bauelemente gilt die extrem hohe Transitfrequenz. 300 GHz und mehr wurden bereits realisiert. Weiter sind diese Transistoren selbst bei hohen Frequenzen ausgesprochen rauscharm. Referenz [7] bietet einen guten Überblick über die jüngsten Fortschritte der InP-HEMT-Technologie. Im Rahmen des Lesit-Moduls 6 (Mikrowellen und Gigabit-Elektronik) werden am Institut für Feldtheorie und Höchstfrequenztechnik der ETH Zürich neue Technologien für schnelle Bauelemente und Schaltungen entwickelt.

### Weltrekord für Bauelemente mit 0,25 $\mu\text{m}$ Gate-Länge

Ein Parameter, welcher einen grossen Einfluss auf die Geschwindigkeit eines HEMT hat, ist die Gate-Länge des Devices. Um jedoch in den Millimeterwellenbereich (oberhalb 30 GHz) vorzustossen, müssen derart kleine Gate-Längen realisiert werden, dass konventionelle optische Lithographie bei weitem nicht mehr ausreicht. Deshalb wird an der ETH für die Belichtung derart feiner Strukturen der Elektronenstrahl eines modifizierten Elek-

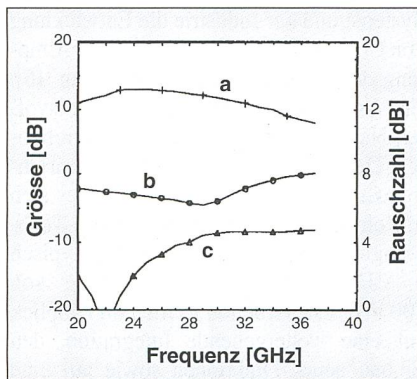


Bild 15 HF-Performance eines zweistufigen InP-HEMT-Verstärkers

- a Verstärkung
- b Rauschen
- c reflektierte Leistung

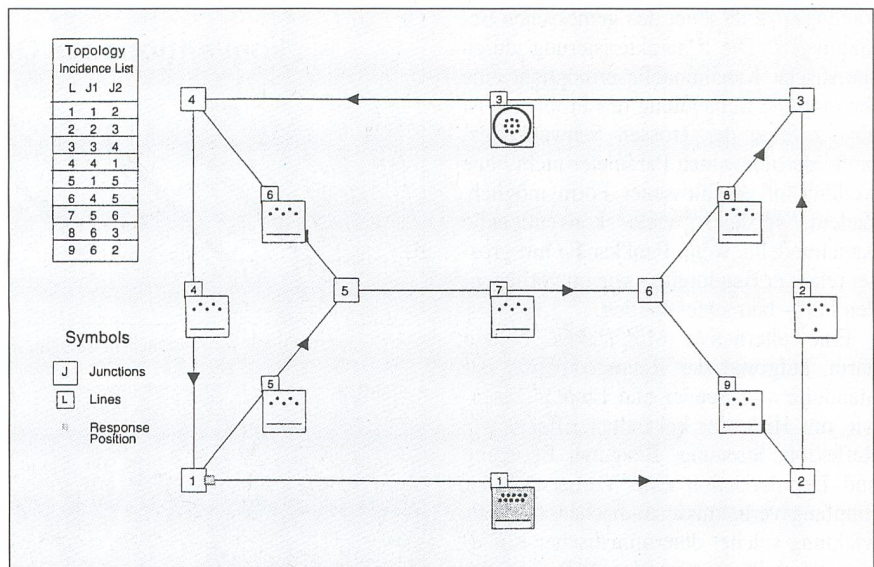


Bild 16 Orientierter TLS-Graph

Unter dem Leitungsindex ist der Querschnitt jeder Mehrfachleitung schematisch dargestellt (in Pfeilrichtung gesehen).

tronenmikroskops eingesetzt. Obwohl höhere Auflösungen erzielt werden könnten, begnügte man sich für den Standardprozess mit einer minimalen geometrischen Ausdehnung der Strukturen von 0,2  $\mu\text{m}$ .

Leider steigt der Reihenwiderstand des HEMT-Gates, welches aus einem langen, dünnen Metallstreifen besteht, mit abnehmender Breite (Gate-«Länge»). Dies wirkt sich auf die Performance bei hohen Frequenzen negativ aus. Einen Ausweg bietet der in Bild 12 dargestellte Spezialprozess an, welcher auf der Verwendung eines T-Profiles für kleine Gate-Länge und kleinen Leitungswiderstand beruht. Bild 13 zeigt eine elektronenmikroskopische Aufnahme eines solchen HEMT mit T-Gate. Die untere Breite des Gates beträgt lediglich 0,25  $\mu\text{m}$ , die obere 0,8  $\mu\text{m}$ . Damit konnte ein Seriewiderstand von 180  $\Omega/\mu\text{m}$  realisiert werden, mehr als fünfmal weniger als der Widerstand eines konventionellen Gates. Dieser T-Gate-Prozess wurde in eine zuverlässige Fabrikationstechnologie für HEMT integriert. Die damit erzielten Transitfrequenzen von 150 GHz stellen dabei einen Weltrekord für Bauteile mit 0,25  $\mu\text{m}$  Gate-Länge dar.

### Modellierung und Schaltungsdesign

Ein weiterer wichtiger Schritt nach der Entwicklung der HEMT-Technologie bestand in der Erarbeitung von Modellen, die für das Schaltungsdesign herangezogen werden können. Zuverlässige Modelle für das Klein- und Grosssignalverhalten sowie für das Rauschen konnten entwickelt werden.

Mit Hilfe dieser Modelle wurde eine erste Schaltung realisiert. Bild 14 zeigt

das Schaltungslayout und Bild 15 die gemessene Hochfrequenzperformance eines vollständig integrierten zweistufigen Millimeterwellen-Verstärkers auf InP-HEMT-Basis. Obwohl nur als Demonstrationschaltung gedacht, konnte doch im Frequenzband zwischen 20 und 36 GHz eine beachtliche Verstärkung von 10 dB gemessen werden. Weitere, anspruchsvollere Schaltungen, die von den gewonnenen Erfahrungen und den Computermodellen profitieren, werden in naher Zukunft folgen.

## Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

### TLS-Code (Transmission line system)

Daten- und Energieleitungen sind die wichtigsten Verbindungselemente zwischen elektrischen und elektronischen Systemen. Die elektromagnetische Feldkopplung und die Ausbreitung von Störungen in Systemen von Übertragungsleitungen sind ohne Zweifel die wichtigsten Aspekte im EMV-, EMI- und EMP-Bereich (elektromagnetische Verträglichkeit, elektromagnetische Interferenz und elektromagnetischer Puls) sowie in weiteren Disziplinen der Elektrotechnik.

EMV-Diagnoseverfahren aller Art erfordern die sorgfältige Beobachtung der Einkopplungspfade unerwünschter Störungen. Der TLS-Code gestattet nun die Berechnung der Einkopplung und Ausbreitung transients Störungen in Systemen gleichförmiger Mehrfachleitungen (Bild 16). Eine erste Programmversion des TLS-Codes, die mit komfortablen Ein- und Aus-



gabegrafiken ausgestattet wurde, ist derzeit verfügbar und zum Teil auch verifiziert.

Der TLS-Code ermittelt die Spannungs- und Stromantwort ganzer Leitungssysteme im Zeit- und Frequenzbereich an jeder gewünschten Position im System. Zusätzlich leistet der Code die modale Analyse für jede Mehrfachleitung im Frequenzbereich, das heisst der TLS-Code berechnet die Ausbreitungskonstanten (Eigenwerte), die modalen Spannungen und Ströme (Eigenvektoren) sowie die modalen Geschwindigkeiten der verschiedenen Ausbreitungstypen (Moden).

Geometrisch erstreckt sich die Verwendbarkeit des TLS-Codes von kleinsten elektronischen Systemen bis hin zu Freileitungssystemen. Er eignet sich vor allem zur Bearbeitung von EMV-Problemen, wie die Abschätzungen von Störspannungen und Störströmen an Anlagen- und Geräteeingängen innerhalb gestörter Systeme, oder zur Entwicklung und Optimierung von linearen Schutzelementen (z. B. Filter).

Der aktuelle Ausbaustand des Programms erlaubt die Durchführung theoretischer Studien, die Unterstützung praktischer Laborarbeiten sowie Einsätze im Bereich der EMV-Ausbildung. Zukünftige Arbeiten werden in Erweiterungen und Verfeinerungen der Theorie sowie in der Validierung und Optimierung des TLS-Codes liegen. Ferner wird geplant, die Berechnungen auf die Ermittlung elektromagnetischer Felder in Leitungsumgebung auszudehnen.

#### Feldverteilung in geschirmten Räumen

EMV-Messungen werden mehrheitlich in geschirmten Räumen durchgeführt. Da die meisten EMV-Normen Freiraumbedingungen vorschreiben, ist es notwendig, die Messräume mit dämpfendem Material auszukleiden. Solche Messräume verursachen hohe Investitionskosten. Ziel der Untersuchungen ist, die minimal notwendigen Dämpfungswerte zu finden und auch abzuklären, inwiefern allenfalls neu zu definierende Messverfahren in nicht bedämpften Räumen verwendet werden könnten.

In einem ersten Schritt wurde ein bestehendes Computerprogramm (MMP) derart optimiert und angepasst, dass die Berechnung von Feldverteilungen in geschirmten Räumen im Frequenzbereich zwischen 10 MHz und 1 GHz möglich ist. Das Programm erlaubt inzwischen, sowohl bedämpfte als auch gut leitfähige Wände sowie Dämpfungskörper im Innern des Raumes zu berücksichtigen. Die aktuellen Simulationen zeigen, dass die Resonanzerscheinungen in schwach bedämpften Räumen auch durch neue Messverfahren nur schwer zu beherrschen sein dürften.

Die diesbezüglichen Untersuchungen sind allerdings noch nicht abgeschlossen.

Als Nebenprodukt der Untersuchungen konnten auch erste Aufschlüsse über die Rückwirkung der Wände auf die Strahlungsquellen gewonnen werden. Diese Erkenntnisse werden nun ebenfalls weiter untersucht, mit dem Ziel, das Zusammenspiel zwischen Abstrahlverhalten und Abschirmung – ein zentraler Aspekt der EMV-Schutzmassnahmen – besser zu verstehen.

#### Literatur

[1] H. Baltes and F.-P. Steiner (eds.): Lesit Interim Report Fall 1993. Zürich 1994.

[2] E. Heinzelmann: Industrienah und effizient – Das Schwerpunktprogramm Lesit des ETH-Rates. Technische Rundschau Wissen, Juli 1994, S. 44–47.

[3] U. Dersch, J. Troger and E. Zollinger: Multiple Reflections of Radiowaves in a Corridor. Angenommen zur Veröffentlichung in den IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1994.

[4] U. Dersch and E. Zollinger: Physical characteristics of Urban Micro Cellular Propagation. Angenommen zur Veröffentlichung in den IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1994.

[5] U. Dersch and E. Zollinger: Propagation Mechanisms in Micro Cell and Indoor Environments. Angenommen zur Veröffentlichung in den IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1994.

[6] S. D. Lingwood, H. Kaufmann and B. Haller: Asic Implementation of a Direct-Sequence Spread-Spectrum Rake-Receiver. IEEE Vehicular Technology Conference, VTC '94, Stockholm, Juni 1994.

[7] U. K. Mishra and J. B. Shealy: Proc. 6th Int. Conf. on InP and Related Materials, pp. 14–17, 1994.

## Recherche de pointe dans le cadre de la collaboration entre hautes écoles et l'industrie

### Le programme prioritaire Lesit réunit hautes écoles et industrie Troisième partie: Microcapteurs et télécommunication

Les domaines spéciaux des microcapteurs et de la communication mobile représentent une chance énorme pour l'avenir de l'économie suisse. La structure industrielle dont bénéficie la Suisse la prédestine à devenir un des plus importants fournisseurs du marché des capteurs qui devrait croître à plus de 50 milliards de francs sur le plan mondial jusqu'en l'an 2000. Avec une croissance annuelle de 20%, la communication mobile, d'autre part, est le segment le plus progressant sur le marché de la communication. La Suisse ne peut faire face à ces défis que si elle arrive à créer en temps utile les compétences nécessaires et à les défendre, car cet immense marché attire aussi les grands groupes internationaux. C'est pourquoi le programme prioritaire Lesit (électronique de puissance, technique de systèmes et technologie d'information) s'est posé pour objectif de maintenir une position de pointe au niveau mondial de la Suisse dans ces domaines partiels si vitaux pour notre pays. On veut y parvenir en orientant les compétences existantes et en utilisant de manière optimale les infrastructures dispersées sur tout le pays par une connexion industrielle.

Le laboratoire d'électronique physique (Prof. H. Baltes) de l'EPF Zurich s'est acquis une réputation mondiale en «mariant» des structures de capteurs et l'électronique d'interface. Assisté par de vastes simulations sur ordinateurs et caractérisation des matériaux du processus, des fabricants commerciaux produisent depuis quelque temps différentes séries pilotes de capteurs. De tels microcapteurs rencontrent un grand intérêt auprès de nombreuses firmes. Au laboratoire d'optique non-linéaire (Prof. P. Günter) de l'EPF Zurich, on fait croître des matériaux ferroélectriques pour capteurs moyennant une épitaxie en phase liquide (LPE) et une épitaxie à faisceau de molécules (MBE), sous forme de couches minces sur des substrats semi-conducteurs. Dans le domaine des techniques de la communication on construit à l'EPF les radio-systèmes mobiles du surlendemain. De nouvelles méthodes, de nouveaux modèles de canaux, mais aussi des éléments à ultra-haute fréquence au GaAs pour les réseaux de connexion pour unités d'entrée/sortie d'émission et de réception sont développés en coopération avec les PTT suisses et les sociétés Ascom et IBM. Dans le domaine de l'électronique des micro-ondes et du gigabit on a même établi un record du monde pour transistors d'une longueur de porte de 0,25 µm. Egalement le domaine de la compatibilité électromagnétique est traité dans le cadre de Lesit: de nouvelles méthodes de diagnostic CEM pour couplage et déploiement de perturbations transitoires ont été développées. La répartition du champ électrique dans les locaux blindés peut désormais être calculée et le rapport entre le comportement en rayonnement et le blindage peut être analysé à l'aide d'un nouveau programme d'ordinateur.



# NIEMAND

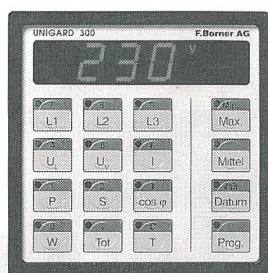
**fährt zweite Klasse, wenn er erste fahren kann.**

UNIGARD ersetzt alle herkömmlichen Zeigerinstrumente in elektrischen Anlagen. Spannungen, Ströme, Leistungen (klare Unterscheidung zwischen motorisch und generatorisch) usw. können mit UNIGARD gemessen, berechnet, registriert und jederzeit abgerufen werden. Nebst Min./Max.-Werten mit Zeitangabe des Eintretens, zeichnet es sich durch

Leitsystemfähigkeit und Bedienerfreundlichkeit aus.

Via Datenlogger (UNILOG) können die Daten mit der auf EXCEL basierenden Software UNISOFT abgerufen werden.

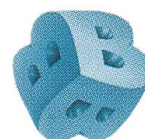
UNIGARD ist eine reife Neuentwicklung der F. Borner AG, konzipiert von kompetenten Netzkennern für die Köpfer in der Praxis.



Weiterentwicklungen hinsichtlich neuer Regelungen und Bedürfnissen sind somit gewährleistet.

Am besten verlangen Sie unsere Broschüre oder eine persönliche Beratung. Wir freuen uns auf Ihren Kontakt.

**UNIGARD von Borner.**



**F. Borner AG**

Bereich Messtechnik  
CH-6260 Reiden  
Telefon 062 81 20 20  
Telefax 062 81 29 38

## ACHTUNG ESD-GESCHÜTZTER BEREICH



VORSICHTSMASSNAHMEN  
BEI HANDHABUNG  
ELEKTROSTATISCH  
ENTLADUNGSGEFÄHRDETER  
BAUELEMENTE  
BEACHTEN



Wie Sie Ihren spezifischen Arbeitsbereich auslegen müssen, damit er ESD-geschützt ist, ist festgelegt in der CECC-EN 100.015.1 bis -4.

Diese CECC-EN können Sie bestellen beim **SEV, Normen- und Drucksachenverkauf**, Luppenstrasse 1, 8320 Fehraltorf.



Schweizerischer Elektrotechnischer Verein  
Association Suisse des Electriciens  
Associazione Svizzera degli Elettrotecnici  
Swiss Electrotechnical Association



# Die perfekte Ausrüstung zur Beurteilung der Spannungsqualität: MEMOBX 686

ANTWORTCOUPON

Die ersten 100 Einsender dieses Coupons erhalten ein praktisches Geschenk

Senden Sie uns unverbindlich:

- ☐ Weitere Unterlagen zur MEMOBX 686
- ☐ Information zum LEM ELMES Seminar-Angebot

Name:

Firma:

Adresse:

Bitte einsenden an  
LEM ELMES AG, Bahnhofstrasse 15,  
8808 Pfäffikon

**LEM**

## Misst:

- Spannungsänderungen
- Unterbrechungen
- Einbrüche und Überhöhungen
- Oberschwingungen und Zwischenharmonische
- Flicker
- Unsymmetrie
- Signalspannungen
- Netzfrequenz



LEM ELMES AG - Bahnhofstrasse 15, 8808 Pfäffikon  
Tel. (..41) 055/46 75 75, Fax (..41) 055/46 75 55



AXE - (022) 361 90 41

**Soucieux de qualité.** Nous sommes fiers de vous offrir une approche globale de la sécurité incendie. Séparément ou combiné: détection; installation sprinkler; CO<sub>2</sub>; mousse. La solution optimale de l'étude à la réalisation.



**abarisk**sa  
La sécurité au sérieux

1, rue de l'Industrie  
1020 Renens  
Tél. (021) 634 77 77

## Leistungsbezug begrenzen LOA 400

Die intelligente, wirtschaftliche Leistungsoptimierungsanlage

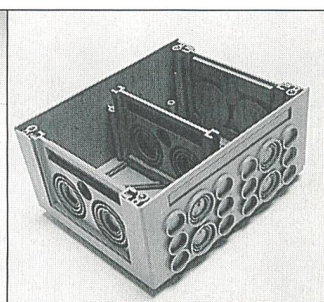
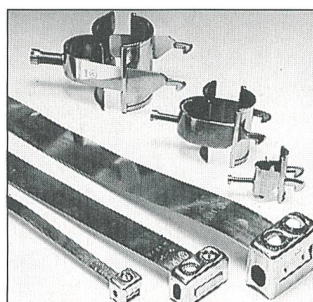
- 3 oder 7 Lastgruppen
- Schaltfolgesteuerung
- Schaltzeitensteuerung
- Prioritätssteuerung
- Trendrechner
- 800 h Datensicherheit
- Programmierung, menuegeführter Dialog



Partner für Elektro-Energie-Optimierung • erfahren • kompetent • individuell beratend seit 1965



**detron ag** Zürcherstrasse 25, CH4332 Stein  
Tel. 064-63 16 73 Fax 064-63 22 10



## LANZ UP-Dosen Universal-Dosen Schnellverleger Erdleitungsbriden

4 Top-Produkte aus dem modernen LANZ Sortiment

- solide und durchdacht
- preisgünstig und praxisgerecht
- sofort lieferbar von Ihrem Elektrogrossisten

Für LANZ Qualität gibt's keinen Ersatz! Rufen Sie an:  
**062/78 21 21 lanz oensingen Fax 062/76 31 79**

Bitte senden Sie Unterlagen:

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> LANZ Kabelträger aus galv. Stahl/Inox/Polyester | <input type="checkbox"/> LANZ Installationsmaterial              |
| <input type="checkbox"/> LANZ G-Kanäle und kleine Gitterbahnen           | <input type="checkbox"/> LANZ Doppelböden für Büros/techn. Räume |
| <input type="checkbox"/> LANZ Verteil-Stromschienen 25-900 A             | <input type="checkbox"/> LANZ Brüstungskanäle                    |
| <input type="checkbox"/> LANZ BETOBAR Stromschienen 380-6000 A           | <input type="checkbox"/> LANZ Flachkabel                         |
|  | <input type="checkbox"/> MULTIFIX Schienenmontagesystem          |

☐ Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!  
Name/Adresse/Tel.:

IM2



**lanz oensingen ag**  
CH-4702 Oensingen • Telefon 062 78 21 21



