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: 71 (1980)

Heft: 21

Artikel: Die Forschung im Fachbereich Elektrotechnik an der ETHZ

Autor: Moschytz, G. S.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905296

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: 10.12.2025

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

Die Forschung im Fachbereich Elektrotechnik an der ETHZ

Von G.S. Moschytz

061.6(439.34):621.3

1. Einführung

An der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) sind die Fachabteilungen für den Unterricht zuständig; hingegen bilden die einzelnen Institute die Betriebseinheiten zur Durchführung der Forschung. Für die Fachausbildung in Elektrotechnik sind gegenwärtig 17 Professoren, unterstützt durch rund 50 Lehrbeauftragte, verantwortlich; an 11 Instituten wird elektrotechnische Forschung betrieben (Verzeichnis der Institute und Fachprofessoren siehe Anhang). An diesen sind unter der Aufsicht der Professoren junge Doktoranden und auch fortgeschrittene («Post doc») Wissenschaftler tätig.

Welches sind nun die typischen Forschungsziele eines Institutes einer Ingenieurabteilung, und worin liegen sie begründet? Das *erste* und wohl wichtigste Ziel der Hochschulforschung ist es, den Nachwuchs junger Forscher sicherzustellen. Dazu müssen geeignete Voraussetzungen vorhanden sein, nämlich eine Infrastruktur in menschlicher und instrumenteller Hinsicht, welche einem Doktoranden ermöglicht, seine Kreativität zu entfalten und, wie es als Kriterium für das Doktorat oft heisst, «den Beweis seiner Fähigkeit, selbständig Forschungsarbeiten auszuführen», zu erbringen. In dieser Hinsicht ist das eigentliche *Forschungsgebiet* eines Institutes eher unwichtig; viel wichtiger ist das Arbeitsklima, die Anregung zur Kreativität und die Möglichkeit, einen gewissen Anschluss nach aussen, etwa durch Zeitschriften, Vorträge und persönliche Kontakte mit auswärtigen Forschern, sicherzustellen.

Ein *zweiter* Grund für die Forschungsaktivität ergibt sich aus den Bedürfnissen der Lehrtätigkeit selbst. Sollen die Vorlesungen aktuell bleiben und ein hohes wissenschaftliches Niveau aufweisen, so muss der betreffende Dozent entweder direkt oder indirekt durch die an seinem Institut durchgeführte Forschung mit den aktuellen Problemen seines Fachgebietes konfrontiert bleiben. Fehlt dieser Kontakt, so besteht die Gefahr, dass die Vorlesungen entweder zu abstrakt und wirklichkeitsfremd oder veraltet und unzeitgemäss werden. Auch hier ist eher die Methodik als das genaue Gebiet der Forschung wesentlich.

Ein *dritter* Grund für die Hochschulforschung (es liessen sich noch weitere angeben) sei noch erwähnt. Die Forschungsinstitute einer Hochschule bilden eine Art Reservat auf nationaler Ebene, wo das zeitgemässe Know-how auf gewissen wesentlichen Gebieten als Allgemeingut aufrechterhalten und gepflegt werden muss. Hier kommt es selbstverständlich doch auf das eigentliche Gebiet der Forschung an, wobei die Frage der Auswahl eher auf forschungspolitischer und industrieller Ebene als vom Unterrichtsbetrieb her bestimmt wird.

Die elektrotechnische Forschung an der ETHZ ist weitgehend durch die drei angeführten Ziele motiviert. Sie ist in keiner Weise für das breite Gebiet der Elektrotechnik allumfassend – sie kann es gar nicht und muss es auch nicht sein. Jedes Institut hat gewisse Schwerpunkte, die sich entweder vom Unterricht her oder von der persönlichen Neigung und Erfahrung des betreffenden Professors – oder in Ausnahmefällen der Mitarbeiter – ergeben. Daneben pflegen manche Institute ganz bewusst und gezielt bestimmte Forschungsgebiete, weil diese aus regionaler oder sogar aus nationaler Sicht wünschenswert sind. Diese Arbeiten werden meistens von entsprechenden Behörden oder auch von der Industrie her mindestens teilweise finanziell unterstützt.

Ohne weiter auf die Begründung einzugehen, sollen nun die Forschungsschwerpunkte an der Abteilung für Elektrotechnik (der «Abteilung III B») kurz beschrieben werden. Dabei wird von der Thematik ausgegangen; die sich mit den betreffenden Gebieten befassenden Institute sind jeweils durch die im Anhang erläuterten Abkürzungen in Klammern vermerkt.

2. Energietechnik

Unabhängig davon, welche primären Energiequellen verwendet werden, bleibt die elektrische Energie eine der wichtigsten Energieformen, die dem Verbraucher zur Verfügung stehen. In der heutigen, energiebewussten Zeit kommt deshalb der Forschung in der elektrischen Energietechnik besondere Bedeutung zu. An der ETHZ ist die Forschung auf diesem Gebiet vor allem der effizienten und wirtschaftlichen *Energiewandlung, -übertragung* und *-versorgung* gewidmet.

Auf dem Gebiet der *Energiewandler* werden neue Konzepte beim Bau elektrischer Maschinen untersucht [EM], wobei die modernen Mittel der Computer-Simulationstechnik, Optimierung, Modellierung und Identifikation angewendet werden. Mit diesen Methoden werden unter anderem neue, schnellaufende elektrische Maschinen für Energiespeicher, verbesserte Bremseinrichtungen für Schienenfahrzeuge und auch dynamische Modelle von Synchronmaschinen am Netz untersucht. Man strebt dabei an, allgemeingültige Modelle und Methoden zu entwickeln, welche einem breiten Spektrum von verwandten Projekten zugute kommen können. So werden z.B. Standardmodelle für elektrische Maschinen als Computersubroutinen entwickelt [EM], neue numerische Feldberechnungsverfahren untersucht [E] und Simulationsverfahren für grosse dynamische Systeme der Energietechnik zusammengestellt [AIE, EEH].

Die elektrische, elektronisch geregelte Bremsung von Schienenfahrzeugen ist ein typisches Problem, welches gegen-

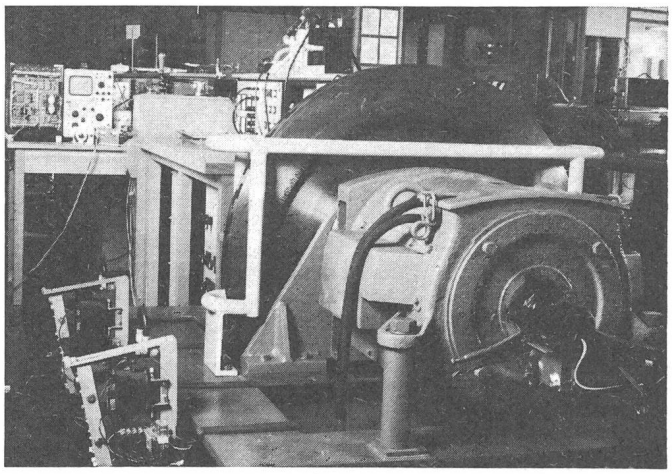


Fig. 1 Prüfstand zur Erforschung der elektronisch geregelten Bremsung von Schienenfahrzeugen

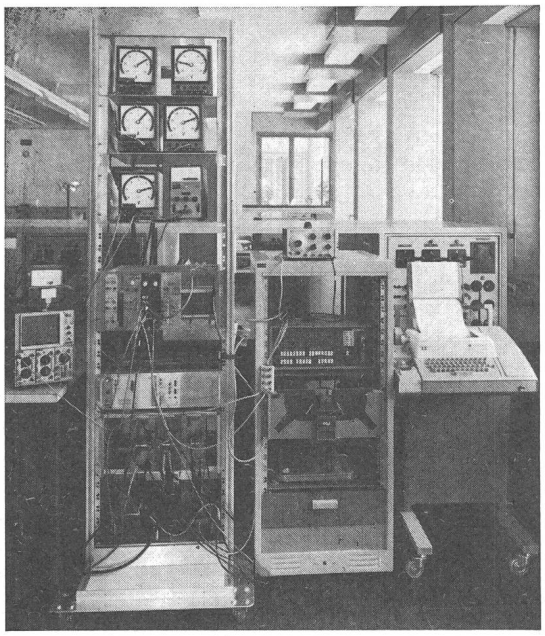


Fig. 2 Arbeitsplatz für elektrischen Antrieb mit selbstadaptiver Regelung mittels Mikrocomputer

wärtig erforscht wird. Das Ziel dabei ist eine Anordnung, mit der sowohl an einer Steigung als auch im Gefälle bis zum Stillstand ausschliesslich *elektrisch* gebremst werden kann. Dabei sollen die Totzeiten sowie die Verluste des Motors so klein als möglich gehalten werden. Die Forschungsarbeit ist, wie die meisten an der Abteilung IIIB ausgeführten Arbeiten, sowohl theoretisch als auch experimentell. Figur 1 zeigt den zugehörigen Prüfstand mit dem Fahrmotor (Strassenbahn), dem Schwungrad (Modell des Fahrzeuges) und der Thyristorsteuerung [EM].

Eng mit diesem Gebiet verwandt, werden auch Arbeiten auf den Gebieten der Stromrichtertechnik, der angewandten Regelungstechnik und der elektrischen Messtechnik bearbeitet [AIE]. Hauptschwerpunkte in der Forschung sind zurzeit geregelte Antriebe, Netzrückwirkungen von Stromrichtern und netzrückwirkungsarme Stromrichter und Blindleistungskompensatoren. Auch hier leisten Computer-Simulationsmethoden und speziell entwickelte analoge und digitale Signalverarbeitungsmethoden wichtige Dienste, um z.B. neue Stromrichterschaltungen zu untersuchen. In diesem Zusammenhang wurde ein Arbeitsplatz für den elektrischen Antrieb mit selbstadaptiver Regelung mittels Mikrocomputer entwickelt (Fig. 2).

Die wirtschaftliche und zuverlässige *Energieübertragung* ist nur mit hohen Spannungen möglich. Dementsprechend befasst sich hier die Forschung mit der Suche nach immer besseren Isolationsmethoden, um möglichst hohe Spannungen in volumenmässig kleinen Übertragungssystemen selbst bei ungünstigen atmosphärischen Bedingungen anzuwenden. So wird im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf Isolierkomponenten sowohl phänomenologisch als auch physikalisch untersucht [EEH]. Daneben werden neue Isoliergassysteme entwickelt, mit welchen immer grössere Einsparungen an Platz für Schalt- und Umspannanlagen erzielt werden können [EEH]. Dazu muss die Hochspannungs-Prüf- und -Messtechnik als wichtiger Bestandteil dieser Forschung besonders gepflegt werden. So befindet sich beispielsweise eine neuartige Serienresonanzanlage zur Erzeugung hoher Wechselspannungen bis 800 kV in Entwicklung (Fig. 3), die sich im Vergleich zu anderen Anlagen durch eine extrem kleine und leichte Bauweise auszeichnet [EEH]. Auf messtechnischem Gebiet stehen Entwicklungen zur automatischen Registrierung sehr hochfrequenter, stochastisch auftretender Signale im Vordergrund [EEH], wobei auch die Störsicherheit von elektronischen Geräten und Nachrichtensystemen gegenüber solchen Störsignalen wichtige Forschungsprojekte darstellen [TP, E, FMT]. Auch die damit eng verbundenen Fragen der elektromagnetischen Verträglichkeit wird an einigen Instituten untersucht [EEH, KT].

Bei der Forschung auf dem Gebiet der *Energieversorgung* geht es vor allem um Projekte, welche die Zuverlässigkeit und die Wirtschaftlichkeit des Versorgungsnetzes gewährleisten und womöglich verbessern sollen. Unter anderem werden Methoden des Betriebs und der Planung entwickelt, die auf eine verbesserte Ausnützung der Anlagen und Energieträger sowie eine Erhöhung der Versorgungssicherheit und Servicequalität ausgerichtet sind [EEH]. In der Planung wird z.B. an der Methode des Ausbaus von Kraftwerken unter Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse und der technischen Verfügbarkeit gearbeitet [EEH]. Daneben ist ein realistisches Netzmodell auf der Leistungsebene von einigen kW mit zurzeit drei Kraftwerken erstellt worden [AIE]. Damit werden mit den modernsten Hilfsmitteln der Planung und Modellierung Methoden untersucht, um die Transportkapazität zu erhöhen und gleichzeitig, unter Einschluss der informationstechnischen Aspekte, unter allen erdenklichen Umständen die Energieversorgung zu gewährleisten. Dadurch soll der berüchtigte «black-out» vermieden werden [EEH]. An diesem Netzmodell werden deshalb auch Netzregelungen mit dem Computer durchgeführt und anderseits der Einfluss nichtlinearer Lasten, insbesondere von Stromrichteranlagen, untersucht [AIE]. Basierend auf einer mathematischen Modellierung werden Betriebsvorgänge mit Hilfe von Computerprogrammen nachgebildet und optimiert [EEH].

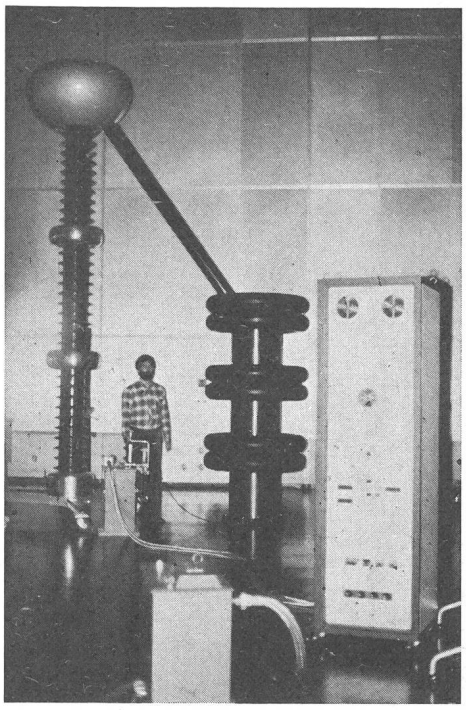


Fig. 3 Serienresonanzanlage zur Erzeugung hoher Wechselspannungen bis 800 kV

Daneben werden aber auch Möglichkeiten zur Einsparung und Substitution des Öls bei der Wärmeversorgung untersucht [EA]. Dabei liegt der Schwerpunkt auf dem wirtschaftlichen Vergleich der technischen Möglichkeiten der Wärmebedarfsdeckung mit verschiedenen Energieträgern und der Fernwärmeversorgung über eine Wärme-Kraft-Kopplung bei gleichzeitiger Erzeugung elektrischer und kalorischer Energie. In diesem Zusammenhang werden auch Alternativ-Energiequellen betrachtet. So wird z.B. eine Methode zur objektiven Beurteilung von Sonnenkollektoren entwickelt [AB], um verbesserte Messmethoden und Beurteilungsnormen für Sonnenkollektoren zu ermöglichen. Auch die Supraleitung wird im Zusammenhang mit einer wirtschaftlicheren Energieversorgung untersucht [EEH]. Hier geht es um die Zufuhr hoher Ströme in unterkühlten Leitungen, wobei hauptsächlich Teilprobleme materialtechnologischer Art gelöst werden. Im Sinne einer Optimierung des Netzes werden auch neue Möglichkeiten für das Bereitstellen und für die effiziente Ausnützung mechanischer Antriebsenergie zur raschen Betätigung der Lastschalter des Netzes untersucht [AB]. Auch andere, periphere Komponenten der Energietechnik, wie etwa Stromrichter, Regler, Messvorrichtungen u.a.m., werden je nach Aktualität der Problematik untersucht.

Man kann deshalb wohl sagen, dass die beeindruckende Tradition der Forschung auf dem Gebiet der elektrischen Energietechnik in der Schweiz nicht nur weitergeführt, sondern intensiviert wird.

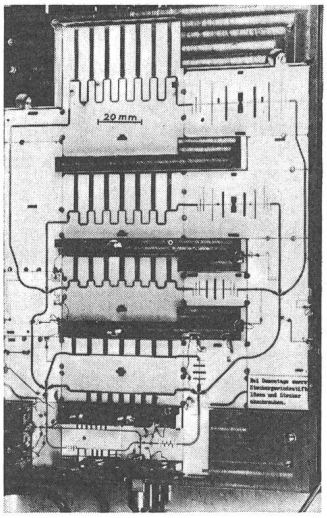
3. Elektronische Bauelemente, Halbleitertechnologie und Schaltungstechnik

Obwohl sich der grösste Teil der Forschung und Entwicklung in der Halbleitertechnologie und bei Bauelementen in der Industrie – und zwar hauptsächlich im Ausland – abspielt, muss dieses Gebiet sowohl für den Unterricht als auch, im Sinne eines nationalen Reservats, an der Hochschule gepflegt werden. Neben dem Aufrechterhalten eines zeitgemässen Know-how in der Halbleitertechnologie werden allerdings auch Spezialgebiete bearbeitet, die an einigen Instituten zur bewährten und fruchtbaren Tradition geworden sind.

Moderne Einrichtungen ermöglichen die Entwicklung von analogen und digitalen IC-Schaltungen, und zwar vor allem auf der Basis der CMOS-Technologie [TP]. Diese Anlagen machen den Bau und die anschliessende Untersuchung neuartiger Schaltungstypen möglich, die von Operationsverstärkern, zu extrem schnellen optoelektronischen Schaltern und Detektoren bis zu Solarzellen und Display-Devices reichen. Die eigentliche Forschung auf diesem Gebiet befasst sich mit den physikalischen Grundlagen der verwendeten Stoffe und Herstellungsprozesse, wie etwa die Untersuchung von Poly-Silizium-Schichten oder die Herstellung von Schottky-Dioden in Silizium mit Palladiumkontakten [TP].

Neben den Herstellungsanlagen für Siliziumtechnik sind auch solche für GaAs-Laser [E] und die Dünnschicht- oder Hybridtechnik vorhanden, welche hauptsächlich in der Mikrowellentechnik dem Bau von Mikrostripschaltungen dienen [MW]. Mit dieser Technik werden z.B. Koppler, Filter, Mischer, Verstärker und Oszillatoren mit modernsten Mitteln und neuartigen Konzepten aufgebaut. Ein Beispiel dafür ist das in Figur 4 gezeigte mitlaufende Bandpassfilter. Dieses in Mikrostriptechnik aufgebaute Filter überstreicht den Bereich von 1000...18000 MHz und wird dazu verwendet, in speziellen

Fig. 4
Geschaltetes Mikrowellen-Bandpassfilter 1...18 GHz
Es besteht aus 7 gestaffelten, überlappenden Bandpässen. Jedes Teilfilter besteht aus einem Bandpass (links im Bild) und einem Tiefpass (rechts im Bild). 6 Dreiwegschalter besorgen die elektronische Auswahl der Filter.



Nachrichtensystemen störende harmonische und subharmonische Wellen auszufiltrieren [MW]. Ein ähnliches Filter ist im Handel nicht erhältlich. Auch auf dem Gebiet der Mikrowellenakustik («Surface acoustic waves») werden neuerdings Forschungsprojekte ausgeführt. Hier handelt es sich um elektronische Bausteine, bei welchen sich mechanische Oberflächenwellen auf piezoelektrisch angeregten Kristallen ausbreiten. So wurden mit dieser modernsten Technologie bereits die ersten Verzögerungsleitungen und Filter für Mikrowellensysteme entwickelt [MW]. Damit verwandt sind auch Untersuchungen über die Eignung von Ultraschallwellen zur Nachrichtenübertragung durch feste Körper [KT].

Neben der eigentlichen Entwicklung neuartiger Bauelemente werden sowohl die selbsthergestellten wie auch die käuflichen modernen Komponenten auf ihre Eigenschaften hin untersucht und charakterisiert. Ziel ist unter anderem die Erarbeitung von Modellen, die für die Simulation der betreffenden Komponenten in der computerunterstützen Schaltungsanalyse Verwendung finden können. Solche Modelle sind für CMOS-Schaltungen und LED (Light-emitting diodes) erarbeitet worden [E].

Zu den wichtigsten Einschränkungen bezüglich Dynamikbereich von elektronischen Bauelementen jeglicher Art zählen die spontanen Schwankungen der elementaren Elektrizitätsträger, das sog. «Rauschen». Eine Anzahl grundlegender Untersuchungen über das Rauschen verschiedenster Komponenten wurde bereits seit ca. 1948 durchgeführt [E]. Dieses zur Tradition gewordene Gebiet hat mit der Kleinst-Leistungs-IC-Technik und Optoelektronik sogar an Bedeutung zugenommen. Mit der Entwicklung der modernen Halbleitertechnologie muss das Rauschverhalten nicht nur von einzelnen Komponenten wie Diodenlasern und Operationsverstärkern, sondern auch von ganzen Schaltungen wie Aktivfiltern und photoelektrischen Auswertkreisen untersucht werden [E]. Eine zurzeit behandelte aktuelle Frage betrifft die statistischen Schwankungen in Schaltungen, die aus elektronischen Schaltern und Kapazitäten aufgebaut sind. Während die bisherigen Rauschuntersuchungen meist kontinuierliche Signalmodelle betrafen, geht es bei diesen sog. «Switched-capacitor filters» (SC-Filter) um abgetastete Systeme. Die Berechnung des Grundgeräusches solcher Schaltungen präsentiert neuartige Probleme, die Gegenstand verschiedener Forschungsprojekte sind [E] (siehe auch Abschnitt 5).

4. Regelungstechnik und Computerwissenschaften

Wegen der grossen Bedeutung des Computers, sowohl für Rechenzwecke als auch zur Prozessregelung, wird die Forschung auch auf diesem Gebiet intensiv betrieben. Dabei muss zwischen Arbeiten unterschieden werden, die sich mit der *Computerarchitektur* und dem inneren Aufbau des Computers (und neuerdings des Mikroprozessors) befassen, und solchen, welche sich mit dem *Einsatz des Computers* entweder als Bestandteil eines Systems (Prozessor) oder zur Bewältigung komplexer Analysen und ähnlicher Aufgaben auseinandersetzen.

Auf dem Gebiet der Computerarchitektur werden Aspekte der Kleincomputer und Mehrprozessorsysteme bezüglich der hardware- und softwaremässigen Realisierung behandelt [E] wie auch optimale Multiprozessorstrukturen zwecks effizienter und möglichst rascher Signalverarbeitung untersucht [FMT].

Der Einsatz des Computers als Prozessrechner wird an konkreten Anwendungen untersucht, so z.B. bei der Steuerung und Regelung verschiedenster elektromechanischer Systeme [AIE] oder bei der Identifikation und Simulation adaptiver Regelsysteme wie etwa des Pupillensystems des menschlichen Auges [AIE]. Auch die erwähnte On-line-Analyse der Stabilität eines elektrischen Netzes mit mehreren Generatoren [AIE, EEH, EM] gehört zu dieser Forschungskategorie. Je grösser die Systeme, die geregelt werden sollen, desto kritischer werden die Fragen der Systemstabilität und desto dürftiger sind heute noch die vorhandenen Theorien zur Erfassung der analytischen Zusammenhänge. Deshalb werden auch die Systemtheorie der grossen Systeme weiter erforscht, neue Verfahren und Theorien zur Steuerung und Regelung grosser Systeme («Large-scale systems») entwickelt und eine Programmbibliothek für die Behandlung allgemeiner mathematischer und regelungstechnischer Probleme zusammengestellt [AIE].

Der Computer als «Ausführender» komplexer Aufgaben und Analysen wäre heute aus keiner Sparte der Forschung mehr wegzudenken. Speziell als «Computer-Aided Design» (CAD) werden u.a. *Analyse-* und *Synthese*-Aufgaben bezeichnet, bei welchen der Computer anhand von Optimierungsalgorithmen zu einem eindeutigen Resultat konvergiert. Derartige *Analyse*-Aufgaben sind z.B. diejenigen der Mustererkennung wie etwa das Lesen von Handschriften [AIE]. Das richtige Erkennen oder «Lesen» eines Zeichens erfolgt im allgemeinen in mehreren Stufen. Zuerst muss mit einer Kamera ein dem Zeichen entsprechendes Signal erzeugt werden. Dieses wird dann mit Rechenverfahren untersucht und mit gespeicherten Zeichen verglichen, bis eine möglichst eindeutige Zuordnung oder Erkennung erreicht ist. Einige Beispiele von handgeschriebenen Ziffern und deren Erkennung durch den Computer vermittelt Figur 5.

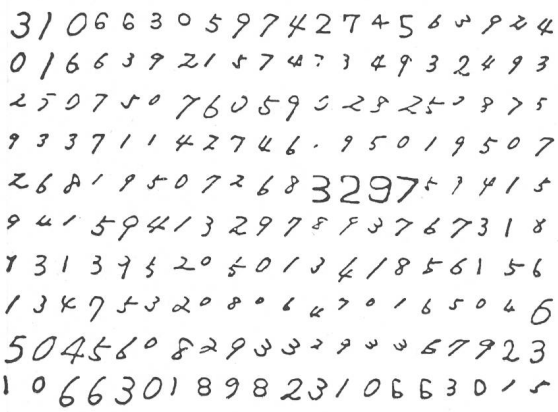


Fig. 5 Einige Beispiele von handgeschriebenen Ziffern, die vom Computer zu 84% richtig erkannt wurden

Eine CAD-*Synthese*-Aufgabe ergibt sich bei der Dimensionierung von elektrischen Filtern. Je nachdem, welche Komponenten und Technologien zum Filterbau verwendet werden, ist mit verschiedenartigen Toleranzen zu rechnen und ein anderes nachträgliches Verhalten in der Praxis zu erwarten. Um die Dimensionierung eines Filters praxisgerecht zu entwerfen, dürfen deshalb weder ideale Komponenten noch ideale Umgebungsverhältnisse (Temperatur, Feuchtigkeit) angenommen werden. Ausgehend von «idealen» Filterschaltungen werden Methoden entwickelt, welche möglichst viele nichtideale Einflüsse berücksichtigen, um eine «optimale» Lösung des Filterproblems für die Praxis zu erhalten [FMT]. Diese als «Design centering» bekannten Methoden nehmen mit zunehmender Komplexität der integrierten Schaltungen und bei immer weniger Möglichkeiten des nachträglichen Filterabgleichs an Bedeutung zu. Sie können auch für eine grosse Anzahl verwandter Schaltungen und Netzwerke angewendet werden [MW, E].

5. Signalverarbeitung und Nachrichtentechnik

Der Begriff der Signalverarbeitung ist ein Sammelbegriff, der im weitesten Sinne für eine Vielzahl moderner Anwendungen gebraucht werden kann, bei welchen Messgrössen aller Art, Informationssignale u.a.m. elektronisch umgeformt werden. Im folgenden wird der Begriff eingeengt, indem die Signalverarbeitung als Umformung *zwecks nachträglicher Übertragung* von einer Informationsquelle zu einem Informationsempfänger verstanden wird. Diese Übertragung gehört zum Gebiet der Nachrichtentechnik. Dank der rapiden Entwicklung auf dem Gebiet der monolithischen integrierten Schaltungstechnik und der Computertechnik greift die Signalverarbeitung in immer weitere Gebiete hinein. Weil dabei immer mehr Informationsquellen entstehen, die ihre Informationen über das bestehende Nachrichtennetz senden wollen, nehmen bei dieser Entwicklung auch die Anforderungen an das Nachrichtennetz ständig zu. Die Ausdehnung der Signalverarbeitung führt also direkt auf die Notwendigkeit zusätzlicher Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Nachrichtentechnik. Auf beiden Gebieten wird sehr aktive Forschung betrieben.

Zur Signalverarbeitung für die Nachrichtentechnik gehört in erster Linie die zeitliche oder frequenzmässige Signalfilterung, bei welcher erwünschte von unerwünschten Signalkomponenten getrennt werden. Dieses seit den Anfängen der Nachrichtentechnik bestehende Problem wird entsprechend den technologischen Fortschritten immer wieder neu angepackt und neu gelöst. Bei der analogen Signalverarbeitung verwendet man heute aktive *RC*-Filter, die in Hybrid-IC-Technik mit Dick- oder Dünnfilmkomponenten und Leiterbahnen realisiert werden. Dafür werden neue, verbesserte Filterstrukturen gesucht, die unempfindlich gegen Komponentenstreuungen, Umgebungsänderungen und elektromagnetische Störimpulse sind und welche mit einem Minimum an nachträglichem Abgleich auskommen [FMT]. Neueste Entwicklungen der IC-Technik erlauben, komplette analoge Filter auf einem einzigen «Chip» zu realisieren. Diese monolithisch integrierten Filter, bestehend aus elektronischen Schaltern, Kondensatoren und

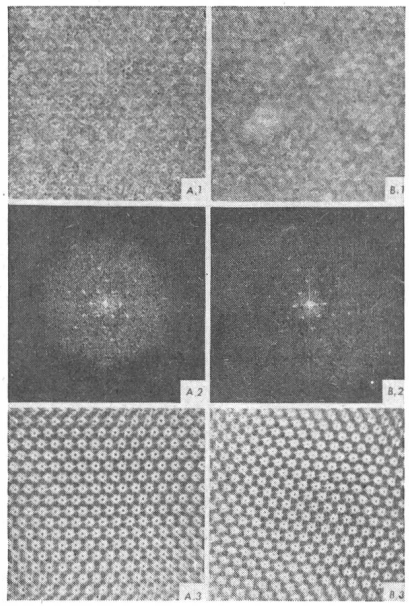


Fig. 6 Beispiel einer Bildrestauration (HPI-Membran von Micrococcus radiodurans)

A1 B1 Zwei verschiedene Ausschnitte vor der Bildrestauration
A2 B2 Digital erzeugte Brechungsmuster von A1, B1
A3 B3 Restaurierte Bilder

Verstärkern, sind als «SC-Filter» (Switched-capacitor filters) bekannt. Das Gebiet der SC-Filter stellt neben den technologischen Fragen das ganze Problem der Filteranalyse, -synthese und -optimierung von neuem. Die Forschung auf diesem Gebiet, obwohl erst einige Jahre alt, ist bereits recht weit gediehen [FMT, E, TP] und wird voraussichtlich noch längere Zeit eine hohe Priorität einnehmen.

Neben der analogen Signalverarbeitung nimmt auch die digitale Signalverarbeitung einen immer wichtigeren Platz ein. Die Forschung auf dem Gebiet der digitalen Filter betrifft hauptsächlich die optimale Anwendung von käuflichen Digitalschaltungen in IC-Form (darunter in erster Linie von Mikroprozessoren), um die gleichen Filteraufgaben auszuführen, die man bisher mit der Analogtechnik gelöst hat [FMT]. Auch hier stellen sich bekannte Probleme in einem neuen Rahmen: etwa dasjenige der erreichbaren Genauigkeit und «Stabilität», der Verminderung der nötigen Verlustleistung oder der Erhöhung erreichbarer Grenzfrequenzen. Die Forschung betrifft deshalb hauptsächlich die Suche nach optimalen Filterstrukturen, bei welchen z.B. Abrundungsfehler und kleine Koeffizienten-Bitlängen den Betrieb der Filter möglichst wenig beeinträchtigen oder bei welchen der Verlustleistungsbedarf trotz erhöhter Grenzfrequenz möglichst wenig zunimmt [FMT]. Weil die menschliche Sprache unter den «Signalen» eine so wichtige Rolle spielt, wird diese ganz besonders behandelt. Bei der digitalen Sprachverarbeitung werden gegenwärtig Methoden gesucht, mit Hilfe des Computers die deutsche Sprache zu analysieren und sogar zu synthetisieren [TP]. Auch die Bildverarbeitung als zweidimensionale Signalverarbeitung wird intensiv betrieben. So werden z.B. Möglichkeiten einer Bildrestauration zur Korrektur von Abbildungsfehlern im nachhinein oder zur Bildverbesserung durch Unterdrückung von Störinformationen gesucht [KT]. Ferner wird die Differenzbildanalyse zur Ermittlung zeitlicher Änderungen von Objekten oder Unterschieden in der Struktur verschiedener gleichartiger Objekte angewendet [KT]. Figur 6 zeigt am Beispiel einer biologischen Membranabbildung die mögliche Qualitätssteigerung bei Anwendung solcher Restaurationsverfahren. Zu diesem Gebiet gehört auch die Satelliten- und Luftbildverarbeitung, wobei multispektrale Fernerkundungsdaten hinsichtlich verschiedener Fragestellungen ausgewertet werden, z.B. hinsichtlich der dynamischen Veränderungen der Schneebedeckung alpiner Regionen oder der Landnutzung [KT]. Wie bei den meisten Analysen- und Verarbeitungsaufgaben komplexer Signale in der modernen Forschung erfolgt auch die Bildverarbeitung fast ausschliesslich mit Computermethoden.

Aufgabe der Nachrichtentechnik ist es, elektrische Signale möglichst getreu und ungestört von einem Sender zu einem Empfänger zu leiten. Die Übertragung kann drahtlos oder drahtgebunden erfolgen, wobei es bis anhin meistens darauf ankam, eine möglichst ökonomische Ausnützung des Frequenzspektrums zu gewährleisten. Um eine möglichst gute Störimmunität zu erreichen, werden aber neuerdings speziell *breitbandige* Verfahren der Übertragung entwickelt. Zu diesem Zwecke werden sog. Frequency-hopping- und Phase-hopping-Systeme für die Übertragung vor allem digitaler Nachrichtensignale untersucht [KT]. Die Systeme werden auf ihr Verhalten beim Codemultiplexbetrieb und bei Fremdstörungen hin analysiert; ferner werden Synchronisationsprobleme der steuernden Codesequenzen und die Berücksichtigung des Einflusses nichtidealer Kanaleigenschaften betrachtet [KT]. Allerdings laufen auch verschiedene Studien auf dem Gebiet der schmalbandigen Übertragung, wie etwa der Datenübertragung, der Quellen- und Kanalcodierung (z.B. für die Faksimile-Übertragung) und der Kryptographie [KT]. Ferner ist ein Projekt über die Optimierung eines geschlossenen digitalen Nachrichtenübertragungsnetzes im Gange [FMT].

Um das Problem des begrenzt vorhandenen Frequenzspektrums zu lösen, wird auch die optische Signalübertragung über

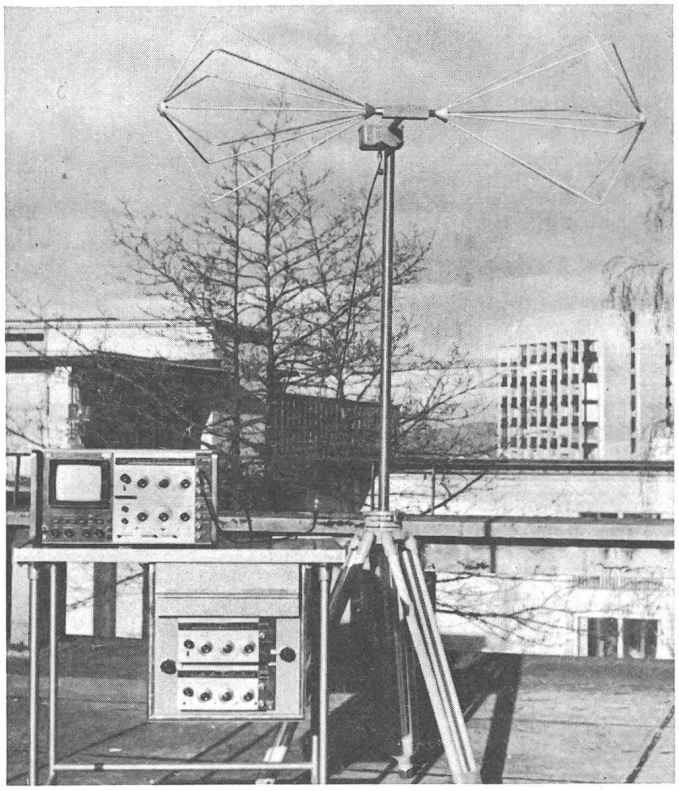


Fig. 7 Messapparatur zur Erfassung elektromagnetischer Felder

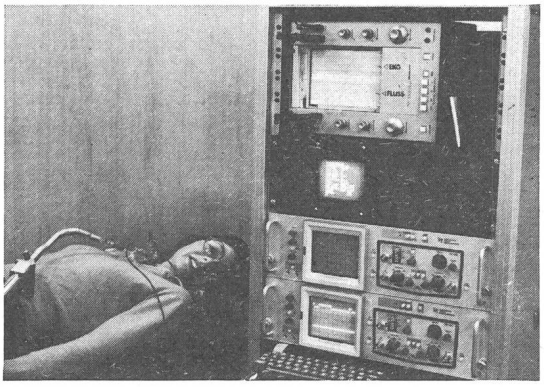


Fig. 8 Doppler-Ultraschall-Messinstrument im Einsatz bei der quantitativen Strömungsuntersuchung in der Halsschlagader

Glasfasern untersucht. So werden z.B. Sender- und Empfängerschaltungen für die optische Übertragung von Fernseh-, Ton- und Sprachsignalen über Glasfasern entwickelt [E, TP]. Neue Resultate haben beispielsweise gezeigt, dass mit einer labormässig aufgebauten Strecke 4 TV- und 6 UKW-Kanäle gleichzeitig und mit guter Qualität durch *eine* Faser über einige Kilometer ohne Zwischenverstärkung übertragen werden können [E, TP]. Für eine effizientere drahtlose Übertragung werden auch Möglichkeiten zur Anwendung der Polarisationsmodulation für die Datenübertragung über Funkkanäle untersucht [KT]. Ein Versuchsaufbau für diese Arbeit zur Messung elektromagnetischer Felder ist in Figur 7 gezeigt. Im Zusammenhang mit dem grundlegenden Studium von elektromagnetischen Feldern werden ferner zylindrische Wellenfelder aller Art berechnet [E] sowie die Ausnützung elektromagnetischer Wellen für die Ortung von Inhomogenitäten in dielektrischen Stoffen [KT] und das Verhalten von Feldern in magnetischen Werkstoffen [E] untersucht.

6. Interdisziplinäre Forschung

Es liegt auf der Hand, dass die Elektrotechnik, welche in den letzten Jahrzehnten in so rasantem Tempo ungeahnte Fortschritte erlebt hat, in einer Vielzahl technischer und nichttechnischer Disziplinen wertvolle Dienste leisten kann. In dieser Hinsicht steht an erster Stelle wohl die Medizin. So spannt die interdisziplinäre Forschung die verschiedensten Forschungsgebiete der Medizin mit solchen der Elektrotechnik in gegenseitig befruchtender Weise zusammen.

In Partnerschaft mit verschiedenen Kliniken, vor allem dem Universitätsspital Zürich, wird eine Reihe von Projekten bearbeitet, welche mit der Entwicklung von risikoarmen, nicht invasiven Untersuchungsverfahren sowohl für Diagnostik wie auch für Therapie verknüpft sind. So wurde z.B. ein Doppler-Ultraschall-Messinstrument entwickelt, welches zur Abklärung von peripheren Kreislaufstörungen eingesetzt wird [BT]. Figur 8 zeigt das Gerät im Einsatz bei der quantitativen Strömungsuntersuchung in der Halsschlagader. Ferner wurde ein Kleincomputer-Tomographiesystem entwickelt, welches erlaubt, eine äusserst genaue und reproduzierbare Bewertung der mittleren Spongiosadichte in gelenknahen Bereichen von Extremitätenknochen vorzunehmen [BT]. Diese und ähnliche Arbeiten befassen sich mit der Entwicklung von Messinstrumenten für risikoarme Untersuchungsverfahren hoher Sensitivität, deren klinische Bedeutung hauptsächlich bei den Kreislauf-, Knochen- und Nervenkrankheiten sowie bei der Evaluation der Wirkung von Pharmaka liegt. Es handelt sich dabei um Problemkreise, deren Lösungen die Erfassung und Verarbeitung von grossen Datenmengen mittels Mikrocomputer miteinbeziehen. Die dabei verwendeten Messmethoden beruhen auf Fernsehmikroskopie, Ultraschall, Thermographie, Computertomographie, Elektrogrammanalysen und kontaktfreier Bewegungserfassung [BT].

Neben der Untersuchung und eigentlichen Entwicklung neuer Messverfahren und Geräte werden auch mit den verschiedensten Mitteln der Physik und Elektrotechnik neue Diagnostikverfahren entwickelt und sogar auf gewissen Gebieten reine Grundlagenforschung betrieben. Dank der formellen Analogie zwischen akustischen, mechanischen und elektrischen Grundeinheiten ist es gelungen, ein hinreichend genaues elektrisches Netzwerkmodell des Mittelohres zu entwickeln [FMT] (siehe Fig. 9). Eine speziell für diesen Zweck entwickelte Messmethode erlaubt, dieses Modell für ein beliebiges gesundes, krankes oder bereits operiertes menschliches Mittelohr schmerzlos und innerhalb Minuten zu ermitteln. Anhand des Modells können dann quantitative Aussagen und Vergleiche über den Zustand des kranken oder operierten Ohres gemacht werden. Ein anderes Projekt untersucht mittels Mössbauer-Effekt und Laserinterferometer die Übertragungseigenschaften vom Mittel- zum Innenohr von Katzen [FMT]. Hier geht es um die mechanischen Resonanzeigenschaften der im Innenohr aufgespannten Basilarmembran, welche trotz weitverbreiteter Erforschung noch immer weitgehend unbekannt geblieben ist und deren genaue Erfassung von medizinischer und eventuell auch von technischer Bedeutung ist.

Ein weiteres Projekt in dieser Kategorie befasst sich mit der Analyse von Elektromyogrammen, also mit den elektrischen Signalen, welche bei der Betätigung eines Skelettmuskels messbar sind [FMT]. Es wird erhofft, diese Analyse so zu verfeinern, dass aussagekräftige Rückschlüsse gemacht werden können zwecks einer möglichst genauen Diagnose erkrankter Muskeln. Ein anderes Projekt befasst sich mit der Untersuchung der Beeinflussbarkeit der menschlichen Herzschlag-

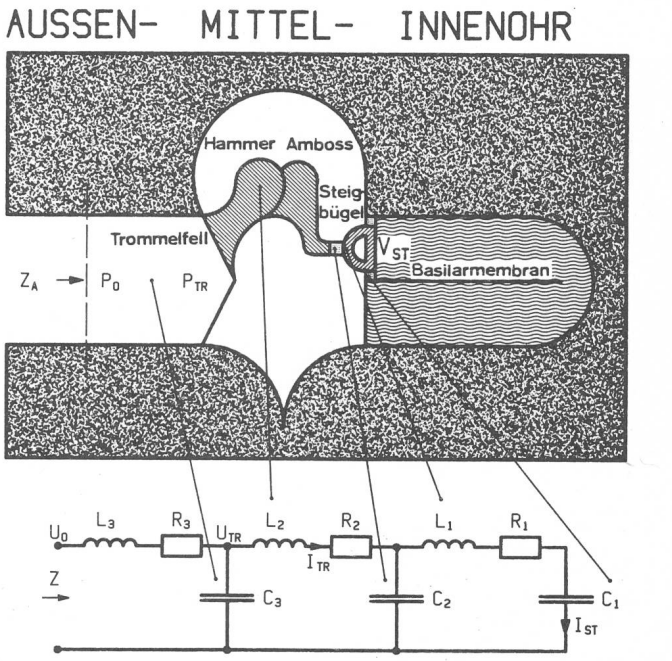


Fig. 9 Elektrisches Netzwerkmodell des menschlichen Mittelohres

Anhang

Institute, Laboratorien und Professuren auf dem Gebiete der Elektrotechnik an der ETH Zürich (Stand 1. Oktober 1980)

Kurzbezeichnung			
TP	Institut für Angewandte Physik und Abteilung für industrielle Forschung. ETH Hönggerberg, 8093 Zürich		Prof. Dr. H. Melchior
AB	Professur für Apparatebau der Elektrotechnik. Gloriastrasse 35, 8092 Zürich		Prof. H. Kern
AIE	Institut für Automatik und Industrielle Elektronik. Physikstrasse 3, 8092 Zürich	Fachgruppe Automatik	Prof. Dr. M. Mansour Prof. Dr. W. Schaufelberger
		Fachgruppe Industrielle Elektronik und Messtechnik	Prof. Dr. R. Zwicky
BT	Institut für Biomedizinische Technik der Universität und der ETH Zürich. Moussonstrasse 18, 8044 Zürich. Gloriastrasse 35, 8092 Zürich		Prof. Dr. M. Anliker
EA	Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft. Physikstrasse 3, 8092 Zürich		Prof. H. Leuthold
EEH	Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik. 8092 Zürich	Fachgruppe Energieübertragungssysteme. Gloriastrasse 35	Prof. Dr. H. Glavitsch
		Fachgruppe Hochspannungstechnik. Physikstrasse 3	Prof. Dr. W. Zaengl
EM	Institut für Elektrische Maschinen. Physikstrasse 3, 8092 Zürich		Prof. Dr. K. Reichert
E	Institut für Elektronik. Gloriastrasse 35, 8092 Zürich	Fachgruppe elektromagnetische Felder	Prof. H. Baggenstos Abteilungsvorstand
		Fachgruppe Schaltungstechnik	Prof. Dr. W. Guggenbühl (Prof. Dr. H. Melchior)
FMT	Institut für Fernmeldetechnik. Sternwartstrasse 7, Gloriastrasse 35, 8092 Zürich		Prof. Dr. G. Moschytz Prof. Dr. J. Massey
KT	Institut für Kommunikationstechnik, 8092 Zürich.	Fachgruppe Bildwissenschaften. Gloriastrasse 35	Prof. Dr. O. Kübler
		Fachgruppe Nachrichtentechnik. Sternwartstrasse 7	Prof. Dr. P. Leuthold
MW	Mikrowellenlaboratorium. Gloriastrasse 35, 8092 Zürich		Prof. Dr. G. Epprecht
	Abteilungssekretariat III B. Gloriastrasse 35, 8092 Zürich		K. Häusler

frequenz durch äussere Rückführung von Information, die aus dem aktuellen Schlagtakt abgeleitet wird [E]. Der Entwurf einer geeigneten computerisierten Apparatur zur Aufnahme und geeigneten Wiedergabe der Herzschlagfrequenz zwecks Klärung von Fragen bezüglich der physiologischen Regelmechanismen und deren Beeinflussbarkeit ist im Gange. Schliesslich wird an einem weiteren Projekt mit der quantitativen Erfassung von Impulslärm gearbeitet, um die daraus entstehenden Hörschäden verhüten zu können [FMT].

Nicht alle interdisziplinäre Forschung an der Abteilung III B beschäftigt sich mit medizinischen Problemen. Da sind einmal die Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Elektroakustik, bei welchen die Lärmentstehung, etwa in Wasserventilen, und Lärmausbreitungsvorgänge verschiedenster Art studiert werden. Dabei werden Simulationsprogramme entwickelt, um die Lärmausbreitung in Fabrikhallen oder im freien Gelände voraussagen zu können [FMT]. Ganz anders gelagert sind die Arbeiten auf dem Gebiete der Unterrichtselektronik und der Lernanlagen [MW]. Hier geht es um die Erforschung neuer und wirkungsvoller elektronischer Hilfsmittel für Unterrichtszwecke. Ein wichtiges Ergebnis dieser Studien ist die speziell für Hoch- und Mittelschulen entworfene Lehranlage PLANETH, auf deren Konsolen heute pro Semester gegen 1500 Lektionen absolviert werden [MW]. Weitere Projekte betreffen ein elektronisches Rückmeldesystem für den Unterricht mit grossen Klassen und ein Auswertesystem für Tests, das eine eingehende Analyse der Resultate erlaubt [MW]. Schliesslich seien noch die Arbeiten auf dem Gebiet der Biotelemetrie erwähnt. Hier geht es darum, die nötigen theoretischen und praktischen Grundlagen zu erhalten, um körpernahe Antennen für tragbare Kleinfunkgeräte konstruieren zu können [E]. Die Ergebnisse der umfassenden Analysen magnetischer Felder in nichtlinearen magnetischen Materialien und Nahfelder von Antennen zeigen, dass Antennen-Körper-Systeme mit Rundumstrahlcharakteristik möglich sind und dass sogar der menschliche Körper selbst als Antenne wirken kann [E].

Adresse des Autors

Prof. Dr. *G. S. Moschytz*, Institut für Fernmeldetechnik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.