

# Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik

Das heutige Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik wurde 1950 als Lehrkanzel und Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Theoretische Elektrotechnik gegründet. Bis zu dem Zeitpunkt waren an der Technischen Hochschule nur die Lehrkanzel für Bau und Betrieb elektrischer Anlagen und die Lehrkanzel für Allgemeine Elektrotechnik (und Elektromaschinenbau) eingerichtet. Leiter des Institutes wurde Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Peter Klaudy. Dieser ist dem Institut bis zu seiner Emeritierung 1973 vorgestanden.

In der Lehre wurden anfangs die Studierenden in den Fächern Theoretische Elektrotechnik, Netzwerke – damals noch als Wechselstromtechnik bezeichnet – und Elektrische Messtechnik von den Mitarbeitern des Institutes betreut. Dies änderte sich erst im Jahre 1973 mit der Einrichtung des Institutes für Allgemeine Elektrotechnik und Messtechnik, so dass ab diesem Zeitpunkt bis heute das Institut im Rahmen der Grundlagenausbildung für alle Studierenden der Elektrotechnik (und ab 1985 auch der Telematik) nur mehr für die Feldtheorie und die Wechselstromtechnik – die spätere Theorie elektrischer Netzwerke – zuständig ist.

Darüber hinaus hatte der Ende der sechziger Jahre eingeführte neue Studienplan mit seinen 5 Wahlfachgruppen mit der Wahlfachgruppe 5 "Elektrotechnische Grundlagenforschung" einen Studiengang, der schwerpunktmäßig am Institut beheimatet war. Diese Wahlfachgruppe 5 war stark physikalisch orientiert, was mit der damaligen Forschungstätigkeit am Institut begründet war.

Im Jahre 1973 erfolgte auch der Wechsel der dem Institut angeschlossenen Anstalt für Tieftemperaturforschung zum Institut für Elektrische Maschinen und Antriebe. Nach der Emeritierung von Prof. Klaudy wurde das Institut bis zur Neubesetzung durch Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Kurt R. Richter Mitte 1976 interimistisch von Prof. Gerhard Aichholzer, dem damaligen Vorstand des Institutes für Elektrische Maschinen und Antriebe, geleitet. Mit Prof. Richter erfolgte im Herbst 1975 ein fast völliger Neubeginn was die Sachausstattung, den Aufbau der Lehrveranstaltungen, das wissenschaftliche Personal und auch die Forschungsschwerpunkte anbelangte. Vor allem in der Forschung war dieser Neubeginn unbedingt erforderlich. Während Prof. Klaudy und seine Mitarbeiter einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung von supraleitenden Kabeln geleistet und sich weiters intensiv experimentell mit der Problematik von Unipolarmaschinen beschäftigt haben, hat der neue Vorstand, ein

gelernter Mikrowellentechniker von der Technischen Hochschule Wien, den Schwerpunkt der Forschungstätigkeit am Institut anfangs auf dem Gebiet der Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik gesetzt.

In den folgenden Jahren erfolgten weitere gravierende Änderungen für das Institut. So wurde 1975 das neue Universitäts-Organisationsgesetz eingeführt. Die Fakultät für Elektrotechnik, bisher der Fakultät für Maschinenbau angeschlossen, wurde gegründet und die Technische Hochschule wurde eine Technische Universität. Die Umbenennung des Institutes in Institut für Grundlagen und Theorie der Elektrotechnik, gleichnamig zum entsprechenden Institut an der Technischen Universität Wien, erfolgte im Juni 1983. Einige Jahre nach dieser Umbenennung hat sich der Kurzname IGTE für das Institut eingebürgert, eine Bezeichnung, die vor allem zuerst von den Kollegen und Forschungspartnern im Ausland verwendet wurde. Es zeigt sich immer wieder, dass das Institut vor allem im Ausland überhaupt nur unter dieser Abkürzung bekannt ist.

Ein weiteres wichtiges Ereignis war der gemeinsam mit der Technisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät 1985 gegründete Studienversuch Telematik, der seit 1991 eine interfakultäre Studienrichtung ist. Im Rahmen dieser fällt dem IGTE in der Lehre die Ausbildung der Studierenden in den Grundlagen der Elektrotechnik, der theoretischen Elektrotechnik und den Grundlagen elektrischer Netzwerke zu. Unterstützend dazu wird ein elementares Laboratorium für alle Studienanfänger der Telematik gemeinsam mit dem Institut für Elektrische Maschinen und Antriebstechnik abgehalten.

Seit dem Studienjahr 1992/93 ist die Studienrichtung Elektrotechnik in Studiengänge unterteilt und das IGTE ist seit damals gemeinsam mit dem Institut für Regelungstechnik und dem Institut für Elektrische Messtechnik und Messsignalverarbeitung im Studiengang Prozesstechnik beheimatet und ist dort für den speziellen Wahlfachkatalog 5 Computerunterstützte theoretische Elektrotechnik zuständig. In der Studienrichtung Telematik ist das Institut im Wahlfachkatalog 17 "Feldnumerik und Messtechnik" angesiedelt.

In den letzten Jahren wurden vom wissenschaftlichen Personal des Institutes im Rahmen von Vorlesungen, Übungen, Laborübungen, Diplomarbeiten, Dissertationen und auch Sprechstunden jährlich etwa 2100 Studierende der Elektrotechnik und Telematik (ungefähr im Verhältnis 2 zu 1) betreut, wobei die Anzahl leicht rückgängig ist. Das bedeutet natürlich eine enorme Belastung

für alle Institutsangehörigen. Der Personalstand hat sich seit der Abmagerung des Institutes im Jahre 1973 auf einen Professor, einen wissenschaftlichen Beamten, 2 Assistenten, eine Sekretärin und einen Mechaniker beginnend mit 1975 auf derzeit einen Professor, 6 Assistenten (davon 4 Dozenten), eineinhalb Sekretärinnen, einen Mechaniker und einen halben Hard- bzw. Softwarebetreuer erhöht. Dazu kommen noch etwa 2 bis 3 durch Drittmittel finanzierte Forschungsassistenten, welche in der Regel nach 2 bis 3 Jahren nach Beendigung der Doktorarbeit das Institut wieder verlassen.

Wie schon weiter oben erwähnt, hat sich in der Forschung mit Prof. Richter anfangs der Schwerpunkt in Richtung Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik verschoben. In diesen frühen Jahren wurde auf dem Gebiet der Wellenausbreitung in Mikrowellenresonatoren zur Lasermodulation gearbeitet. Weitere Forschungsthemen, beispielsweise über das Synthetische Apertur-radar waren eng mit der Radarfernerkundung verbunden. Es wurde im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte ein sogenanntes SLR (side looking radar) aufgebaut und auch tatsächlich experimentell eingesetzt.

Bereits um 1979-1980 wurden dann am Institut die ersten Arbeiten auf dem Gebiet der numerischen Berechnung und Simulation elektromagnetischer Felder in Angriff genommen. Zu dieser Zeit war die an der Universität verfügbare Rechnerkapazität ausreichend genug, um an diesem neuen faszinierenden Abschnitt in der Entwicklung der Elektrotechnik, nämlich der numerischen Behandlung der Maxwell'schen Gleichungen, mitzuarbeiten.

Ein Verfahren dazu hat sich in allen Jahren bis heute als äußerst wertvoll erwiesen, es ist dies die wahrscheinlich auch vielen elektrotechnischen Laien vom Hörensagen bekannte Methode der finiten Elemente (FEM), eine Methode, die ursprünglich von der Strukturmechanik kommt und die in den frühen sechziger Jahren von den Elektroingenieuren aufgegriffen und für ihre Zwecke adaptiert wurde. Mit wenigen Worten beschrieben werden bei diesem leistungsfähigen numerischen Werkzeug die den zu analysierenden Problemen zu Grunde liegenden Differentialgleichungen in kleine Teilgebiete mit einfacher Geometrie wie z.B. Dreiecke oder Tetraeder, die sogenannten finiten Elemente, zerlegt. In diesen finiten Elementen werden sodann die gesuchten Lösungsgrößen, das sind meist skalare und/oder Vektorpotentiale durch einfache Funktionen, häufig lineare oder quadratische Polynome, approximiert und durch Anwendung mathematischer Methoden wie z.B. dem Ritz'schen Verfahren einer Näherungslösung zugeführt. Dabei ent-

stehen als Resultat riesige Gleichungssysteme, die gelöst werden müssen, womit auch der Bedarf an leistungsfähigen Computern verständlich wird. Dabei sind heute Gleichungssysteme mit mehr als einer Million Unbekannten durchaus üblich. Bis 1982, also in nur 2 Jahren, wurde am Institut von einem Team, bestehend aus anfangs nur 2 Assistenten, ein Softwarepaket zur Behandlung ebener und rotationssymmetrischer Geometrien entwickelt, mit dem elektrostatische Felder, stationäre elektrische Strömungsfelder, stationäre Magnetfelder unter Berücksichtigung von Sättigungserscheinungen und auch zeitharmonische Wirbelstromprobleme berechnet werden konnten. Damals wurden auch die ersten Kontakte mit der Industrie geknüpft, die entwickelten Programme wurden bereits 1982 bei der Firma Elin-Union in Weiz installiert und sind dort bis heute nach laufenden Erweiterungen und Verbesserungen im Bereich Transformatorbau in Verwendung.

Weitere enge Kooperationen, die zum größten Teil bis heute bestehen, gibt es mit den Firmen Spezielectra Linz (jetzt Haefely-Trench), Siemens-Matsushita Deutschlandsberg, Siemens-Matsushita München, VAI Linz, Böhlerwerk, Mikron Gratkorn (jetzt Philips), EVU sowie Trafounion Nürnberg usw. Die dabei behandelten Probleme sind vielfältig und reichen von der Berechnung großer Luftspulen wie z.B. Kompensationsdrosseln, TFÜ-Drosseln und Drosseln für HGÜ-Umrichter unter Berücksichtigung der Wirbelstromverluste in den einzelnen Windungen der Spulen bis zu Frequenzen von einigen tausend Hertz über das transiente Verhalten von NTC- und PTC-Thermistoren unter Berücksichtigung der Erwärmung, des Varistoreffektes und der Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Temperatur bis zur Berechnung von Schalenkernen, Auslegung von Permanentmagnetsystemen, Simulation der induktiven Koppelung bei berührungslosen Mautsystemen, Untersuchung der elektrischen Strömungsfelder in Schmelzöfen, Berechnung elektrischer und magnetischer Felder von Hochspannungsanlagen und -leitungen, Untersuchung der Abschirmung von elektromagnetischen Feldern und viele mehr. Bei allen Forschungsprojekten in Zusammenarbeit mit der Industrie steht jedoch nach wie vor die Bearbeitung der Probleme am Institut im Vordergrund und nicht die Implementierung von Feldberechnungsprogrammen beim Projektpartner.

Seit 1982 besteht auch eine enge Zusammenarbeit mit der CERN in Genf, die mit der Berechnung von dreidimensionalen Magnetfeldern in Dipolmagneten, eine zur damaligen Zeit durchaus nicht alltägliche Sache, zur Teilchenablenkung im Antiprotonenkollektoring begann.

Dieser sollte zum Nachweis der durch die elektroschwache Theorie vorausgesagten Z- und W-Bosonen dienen. Nicht ohne Stolz kann bemerkt werden, dass damals Mitarbeiter des IGTE unmittelbar in der Gruppe von Simon van der Meer arbeiteten, der 1984 gemeinsam mit dem italienischen Physiker Carlos Rubbia den Nobelpreis für den Nachweis dieser Elementarteilchen bekam.

Nach einer mehrjährigen Pause begann, ebenfalls auf dem Gebiet der Berechnung magnetischer Felder von Dipol- und Quadrupolmagneten, eine bis heute andauernde Kooperation mit der CERN, diesmal für den geplanten Superbeschleuniger LHC (large Hadron collider). Im Rahmen dieses Projektes wurde der zweidimensionale Teil der Feldberechnungsprogramme in das CERN-Magnetoptimierungspaket ROXIE (Routine for the Optimization of Magnet X-Sections, Inverse Field Computation and Coil End Design) integriert und steht seit nunmehr 2 Jahren den Benutzern der CERN-Bibliothek für die Entwicklung und Optimierung von Beschleunigermagneten weltweit zu Verfügung. Diese Arbeiten sowie auch vorbereitende Arbeiten zur Implementierung der Software zur Berechnung dreidimensionaler Magnetfeldprobleme erfolgten zum Teil im Rahmen einer am IGTE und der CERN durchgeführten und kürzlich abgeschlossenen Dissertation. Für die weiterführenden Arbeiten steht bereits wieder ein zweijähriges Stipendium für einen Dissertanten zur Verfügung.

Ab 1982 wurde dann intensiv an der Entwicklung der Programme zur Berechnung dreidimensionaler elektromagnetischer Feldprobleme gearbeitet, diese Arbeiten sind bis heute noch nicht abgeschlossen, es ist jedoch nunmehr möglich, z.B. realistische transiente, nicht-lineare Wirbelstromprobleme oder Wellenausbreitungsprobleme zu behandeln. Diese Arbeiten waren letzten Endes nur möglich, weil sich die Zahl der am Institut beschäftigten Universitätsassistenten im Laufe der Jahre erhöht hat und weiters durch Drittmittel immer wieder Vertrags- bzw. Forschungsassistenten längerfristig angestellt werden konnten.

Nicht zuletzt war für den erfolgreichen Fortgang der Arbeiten die bis heute andauernde intensive Kooperation mit dem Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik der Technischen Universität Budapest verantwortlich. Im Rahmen dieses Forschungsabkommens zwischen den Technischen Universitäten Graz und Budapest gelang es auch immer wieder, ungarische Kollegen als Assistenten, Dozenten und Gastprofessoren langfristig an das IGTE zu binden.

Neben der FEM hat sich zu Beginn der achtziger Jahre

ein weiteres sehr erfolgreiches numerisches Verfahren etabliert, das im Gegensatz zur FEM auf der Lösung der den Problemen zu Grunde liegenden Integralgleichungen beruht. Es ist dies die Randelementmethode (Boundary Element Method; BEM). Auch diese Methode wurde sehr erfolgreich am IGTE eingesetzt und im Rahmen von Forschungsprojekten und Dissertationen weiterentwickelt. Durch die Berufung von Dozent W. Rucker als ordentlicher Professor an das Institut für Theorie der Elektrotechnik der Universität Stuttgart wird die weitere Entwicklung der Methode seit 1995 in Stuttgart betrieben. In der Lehre wird allerdings nach wie vor alljährlich gemeinsam mit Prof. Rucker und seinen Mitarbeitern eine BEM-Pflichtlehrveranstaltung am IGTE durchgeführt.

In den letzten Jahren ist ein weiteres interessantes Forschungsgebiet am IGTE intensiv bearbeitet worden. Es ist dies das weite Gebiet der Optimierung elektromagnetischer Einrichtungen und Geräte, eine Aufgabe, die sehr eng mit dem sogenannten inversen Problem verwandt ist, bei dem auf Grund einer gegebenen Feldverteilung (beispielsweise aus Messungen) auf die diese Felder erzeugenden Quellen geschlossen wird. Bei der Optimierung andererseits werden elektrische Komponenten konstruktiv so ausgelegt, dass bestimmte gewünschte Eigenschaften wie beispielsweise ein geringes Gewicht, kleines Streufeld wegen der Umweltbeeinflussung, hoher Wirkungsgrad usw. bestmöglich erreicht werden. Neben den aus der Literatur gut bekannten Optimierungsstrategien werden am IGTE auch stochastische Strategien entwickelt und erfolgreich eingesetzt, die sich die Mechanismen der biologischen Evolution, also im wesentlichen Mutation und Selektion, zunutze machen. Die Anwendung solcher Evolutionsstrategien oder genetischer Algorithmen zur Optimierung in der Elektrotechnik wurde 1989 von Mitarbeitern des IGTE zum erstenmal vorgeschlagen und realisiert.

Die wissenschaftlichen Tätigkeiten am IGTE auf dem Gebiet der Feldnumerik und der Optimierung haben zu einem hohen Ansehen der Mitarbeiter in internationalen Fachkreisen geführt. Dies wird durch mehrere hundert Publikationen in begutachteten internationalen Fachzeitschriften, darunter viele eingeladene Vorträge und Publikationen, die Mitgliedschaft in Veranstaltungskomitees von Konferenzen und in Editorial Boards von wissenschaftlichen Journalen wie z.B. den IEEE Transactions on Magnetics oder IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques u.a. und häufige Gastvorträge bei Firmen und an ausländischen Forschungsinstituten und Universitäten, dokumentiert. Die For-

schungstätigkeiten des IGTE spiegeln sich unmittelbar in den vom Institut angebotenen Speziallehrveranstaltungen wieder, die den schon oben erwähnten Wahlfachkatalogen 5 und 17 zugeordnet sind. Es gibt eine grundlegende Pflichtlehrveranstaltung über die wesentlichen Verfahren zur numerischen Lösung von Differential- und Integralgleichungen für alle Studierenden des Studienganges Prozesstechnik und entsprechende Wahlpflichtgegenstände, in denen die meisten durch die Maxwell'schen Gleichungen beschriebenen elektromagnetischen Vorgänge behandelt werden. Dabei werden in Erweiterung der grundlegenden Lehrveranstaltungen dreidimensionale Probleme der Elektrostatik, der stationären Strömungsfelder, der stationären linearen und nicht linearen Magnetfelder und auch zeitharmonische und transiente lineare und auch nicht lineare Wirbelstromprobleme, Resonatoren und Freiraumwellenausbreitung mit der Problematik von künstlichen Randbedingungen bei der Anwendung der Methode der finiten Elemente behandelt.

Zusätzlich und als Vervollständigung dazu wird eine Lehrveranstaltung über Optimierungsverfahren in der Elektrotechnik angeboten. Selbstverständlich gibt es zu allen Vorlesungen auch entsprechende Übungen am Rechner, die meist in betreuungsintensiven Zweier-

gruppen durchgeführt werden.

Wünschenswert wäre eine elementare Feldnumerik-lehrveranstaltung mit starker Praxisbezogenheit für alle Studierenden der Elektrotechnik und Telematik, da numerische Verfahren von einer modernen Elektrotechnik nicht mehr wegzudenken sind und die Absolventen/innen im Beruf immer häufiger mit diesem leistungsfähigen Werkzeug umgehen werden müssen.

Als letztes sollen die seit etwa 3 Jahren intensiv betriebenen Tätigkeiten am IGTE auf dem Gebiet des "Distance Learning" und "Webbased Training" erwähnt werden, wo es darum geht, den Studierenden interaktive Lehrveranstaltungen über das Internet anzubieten. Es werden im Rahmen dieses Forschungsschwerpunktes aber auch Konzepte zur Durchführung sogenannter "Virtueller Labors" erstellt, um die klassischen elektrotechnischen Laborübungen durch in der Realität kaum oder gar nicht durchführbare Experimente zu erweitern. Ein wichtiger Aspekt dabei ist auch der Einsatz von computeranimierten elektromagnetischen Phänomenen. Bereits im heurigen Sommersemester wird die erste Internetlehrveranstaltung der Fakultät für Elektrotechnik mit dem Titel "Optimierung in der Elektrotechnik" angeboten werden.

