

# Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung

## Geschichtlicher Rückblick

Die Gründung des Institutes für Nachrichtentechnik fällt in das Jahr 1968 und füllte eine empfindliche Lücke im Studienplan der Technischen Hochschule Graz, insofern, als das rasant in Entwicklung befindliche Fachgebiet der Nachrichtentechnik bis dahin nicht vertreten war. Als Institutsvorstand wurde o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. DDr. Willibald Riedler berufen, der seinen Dienst im März 1969 antrat. Um der beabsichtigten forschungsmäßigen Ausrichtung Rechnung zu tragen, beschloss die damals zuständige Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik, den Institutsnamen auf „Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung“ zu erweitern.

Die vordringlichste Aufgabe war naturgemäß der Aufbau der das Fachgebiet des Institutes umfassenden Lehrveranstaltungen, der auch sofort in Angriff genommen wurde. Es handelte sich hierbei vornehmlich um Grundlagen der Leitungs-, Antennen- und Informationstheorie. Das Fachgebiet Elektroakustik wurde von einem Lehrbeauftragten (Dr. Karl Logar) betreut, die Fernsprech- bzw. Datenübertragung lag von Anfang an in Händen von Lehrbeauftragten der österreichischen Postverwaltung. Als Institutsunterkunft diente für drei Jahre eine angemietete Wohnung (Krenngasse 37), die Übersiedlung in einen Neubau auf den Inffeldgründen konnte 1972 erfolgen.

Von Anfang an wurde großer Wert auf Forschungsprojekte gelegt, die sich insbesondere auf die bisherige Tätigkeit des Institutsvorstandes bezogen, nämlich die Wellenausbreitung in der Ionosphäre, sowie generell die physikalischen Grundlagen der Ionosphäre und der sich darauf auswirkenden Magnetosphäre der Erde. Auf Grund einer Einladung des Kgl. Norwegischen Forschungsrates konnte bereits am 26. 11. 1969 eine unter Grazer Beteiligung instrumentell ausgerüstete Forschungsrakete zur Messung von Elektronendichte und -temperatur in der D- und E-Schicht der Ionosphäre von Andøya/Nordnorwegen gestartet werden. Es war dies das erste österreichische Messgerät überhaupt, das je in den Weltraum geflogen wurde.

In der Folge war es in enger Zusammenarbeit mit der ESRO (European Space Research Organisation), heute ESA (European Space Agency) möglich, Forschungsprojekte in Bezug auf Nachrichtensatellitenverbindungen zu beginnen. Insbesondere stand hier von Anfang an die Untersuchung des Einflusses des Wettergeschehens (Hydrometeore wie Regen, Hagel, Schnee) auf derartigen Übertragungstrecken im Vordergrund. Als sichtbarer

Höhepunkt dieser Forschungsrichtung konnte in Kooperation mit dem Forschungszentrum Graz, heute Joanneum Research, im Rahmen eines großen ESA-Auftrages die Hilmwarte, ein ca. 100 Jahre alter Aussichtsturm, durch ein oberstes Stockwerk als modernst ausgestattetes Laboratorium mit einem damals vollkommen neuartigen Wetterradar adaptiert werden. Mit Hilfe dieser Forschungseinrichtung war es möglich, eine Vielzahl ungelöster Probleme der Wellenausbreitung zu behandeln.

Hand in Hand mit dieser Entwicklung ging der Aufbau einer Forschungsrichtung, die sich mit dem Informationsinhalt von Satellitenverbindungen, d. h. der digitalen Datenübertragung im weitesten Sinn befasst. Zu diesem Zweck wurde u. a. gemeinsam mit anderen Instituten der Technischen Hochschule und der Universität Graz das Forschungsobservatorium Lustbühel errichtet, wo neben einer dafür errichteten Satellitenparabolantenne mit den dazugehörigen Messgeräten auch eine Zeitstation eingerichtet wurde, die mit Hilfe mehrerer Caesiumfrequenzstandards imstande war und heute noch ist, die genaueste Zeit Österreichs zu liefern („1 sec Fehler in 300000 Jahren“), wie sie für verschiedenste Forschungszwecke erforderlich ist.

Einige Forschungsprojekte am Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung wurden von Anfang an im Rahmen der 1971 neu gegründeten Organisation COST (Cooperation Science Team Europe) durchgeführt, was auch heute noch der Fall ist (insbesondere die Projekte COST 25/4, 205, 228, 72, 73, 74, 75, 76).

Auf Grund einer Initiative der damaligen Rektoren Rinner (Technische Hochschule) und Kortschak (Hochschule für Musik und darstellende Kunst) wurde am Institut das Toningenieurstudium aufgebaut, das noch heute eine einmalige Einrichtung darstellt. Im Wesentlichen wird dabei ein nachrichtentechnisches Studium durch Fächer der Hochschule für Musik und darstellende Kunst (heute Universität der Künste) so ergänzt, dass Absolventen nicht nur technisch, sondern auch musikalisch einen hohen Ausbildungsstand aufweisen.

Aus dem erstmaligen Start einer Forschungsrakete im Jahre 1969 entwickelte sich im Laufe der Jahre in Graz ein österreichweiter Schwerpunkt auf dem Gebiet der Weltraumforschung. Nicht nur wurden bis zum heutigen Tag mehr als 80 Forschungsraketen erfolgreich geflogen, sondern es wurden auch in großer Anzahl Messungen in der Stratosphäre durchgeführt und ab 1983 Messgeräte in die Erdumlaufbahn bzw. zu anderen

Planeten gebracht. Es war bald klar, dass dies nicht mehr in das Fachgebiet der Nachrichtentechnik fallen konnte. Als Lösung bot sich die 1973 erfolgte Gründung des Instituts für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Graz an, in dessen Rahmen der Großteil der österreichischen Weltraumaktivitäten durchgeführt wird. Ebenso war es auf Grund des Umfangs nicht mehr möglich, Forschungsprojekte auf dem Gebiet der Nachrichtensatellitentechnik und anderen, nicht durch das Institut für Weltraumforschung abgedeckten Fachgebieten im Rahmen des nachrichtentechnischen Institutes durchzuführen. Es bildete sich bereits frühzeitig eine enge Kooperation mit dem Forschungszentrum Graz (heute Joanneum Research) heraus, in deren Rahmen 1977 das Institut für Angewandte Systemtechnik gegründet wurde. In diesem Kontext werden weiterhin eine Vielzahl von Projekten auf dem Gebiet der Wellenausbreitung, der Satellitennachrichtentechnik und der Wetterradartechnik durchgeführt. Als Höhepunkt kann wohl die Projektträgerschaft von Joanneum Research, die unter Mitwirkung der anderen Einrichtungen erfolgte, für das Projekt AUSTROMIR (Flug des österreichischen Kosmonauten Franz Viehböck zur Raumstation MIR vom 2. bis 10. 10. 1991) gelten. Somit lässt sich feststellen, dass am Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung neben der einschlägigen Lehre und rein nachrichtentechnischen Forschungsprojekten weit ausstrahlende Forschungsaktivitäten stattfinden, die nicht nur für Österreich, sondern zum Teil für ganz Europa einmalig sind. Erwähnt werden soll noch die Tätigkeit des Institutsvorstandes als Dekan der Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik in den Studienjahren 1973/74 und (nach Wiederwahl) 1974/75, sowie als Rektor der Technischen Universität Graz in den Studienjahren 1975/76 und 1976/77 und Prorektor im Studienjahr 1977/78.

### Lehre

Am Institut fanden im Studienjahr 1998/99 Lehrveranstaltungen im Ausmaß von 102 Wochenstunden (Wintersemester) bzw. 99 Wochenstunden (Sommersemester) statt. Themenmäßig umfassen diese Gebiete Grundlagen, Nachrichtentechnik, Informationstheorie und Codierung, Mikrowellentechnik, Wellenausbreitung und Antennen, Optische Nachrichtentechnik, digitale Signalverarbeitung, Elektroakustik, Tonstudioteknik u.a.m. Hierbei werden in den Hauptfächern auch Rechen- und Laborübungen angeboten, eine Anzahl von Fächern wird von externen Lehrbeauftragten wahrgenommen. Die durchschnittliche Zahl von ca. 40 Diplomanden und etwa

10 Dissertanten sind ständig am Institut tätig, wobei engste Verkopplung mit den laufenden Forschungsthemen angestrebt wird. Einen Sonderbereich bildet die bereits erwähnte Studienrichtung Toningenieur (Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. G. Graber), die wie bereits erwähnt gemeinsam mit der Universität für Musik und darstellende Kunst Graz durchgeführt wird.

Das Neue an diesem interuniversitären Studium ist die Verbindung einer technisch-wissenschaftlichen mit einer musikalisch-künstlerischen Ausbildung. Damit ist der Hintergrund des Toningenieurstudiengangs von Anfang an geprägt durch das Aufeinandertreffen der wissenschaftlichen Forderung nach Objektivität und dem höchst subjektiven musikalisch-künstlerischen Ausdruck und Musikerleben.

Der Brückenschlag zwischen einer technischen und künstlerischen Hochschule musste zunächst seinen formalrechtlichen Weg finden. Anfangs etablierte sich der Studiengang als Fächertauschmodell, wurde bei der Studienreform durch das Technische Studiengesetz 1990 zu einem interuniversitären Studienzweig der Studienrichtung Elektrotechnik und ist seit 1997 mit Inkrafttreten des Universitätsstudiengesetzes eine eigene Studienrichtung.

Für die Ausbildung wurde 1980 ein Lehrstudio eingerichtet. Beginnend mit einem analogen Zweikanal-mischplatz wurde das Studio inzwischen räumlich und gerätetechnisch erweitert zu einem Studiokomplex mit einem Aufnahmerraum und zwei Regieplätzen, die mit einem modernen digitalen Stereo- und Mehrkanal-equipment, mit Hard-Disc-Recording, CD-Herstellung, umfangreicher Messtechnik etc. ausgestattet sind (Abb.1).



Abb.1: Tonstudio

Die Anzahl der Toningenieurstudenten entwickelte sich von anfänglich ca. 20 Studenten mit stetig steigender Tendenz zu derzeit 157 inskribierten Hörerinnen und

Hörern. Die Anzahl der Absolventen lag zunächst bei etwa 3 pro Studienjahr und stieg kontinuierlich bis derzeit durchschnittlich 10 pro Studienjahr, so dass 110 Studenten bis Ende 1998 diesen Studiengang erfolgreich absolvierten. Die vorwiegenden Arbeitsgebiete der Absolventen sind zum einen in den Entwicklungsabteilungen der facheinschlägigen Industrie (Siemens, AKG, Philips, Acousta), in der Ausbildung sowie in den Bereichen Tonmeister und Akustik. Zum anderen ist eine größere Anzahl von Absolventen in vordergründig fachfremden inner- und außeruniversitären Bereichen tätig, denen jedoch mit dem Toningenieurstudiengang eine hohe Interdisziplinarität gemeinsam ist.

### Forschung

Im folgenden wird eine Auswahl der am Institut bearbeiteten Forschungsthemen beschrieben, wobei jeweils der dafür zuständige Arbeitsgruppenleiter angegeben ist. Viele dieser Projekte werden im Rahmen der Teilrechtsfähigkeit des Institutes durchgeführt, wodurch sich die Möglichkeit der Schaffung einer Anzahl (dzt. 10) zusätzlicher Arbeitsplätze ergab.

### Satellitennachrichtentechnik

(Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. O. Koudelka)

Das Institut ist seit zwei Jahrzehnten führend an der Entwicklung, dem Test und der Umsetzung neuer Satellitenkommunikationssysteme und -dienste tätig. Enge Zusammenarbeit besteht seit Beginn mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA und internationalen Forschungsinstitutionen wie dem Rutherford-Appleton Laboratory, CERN, University of Plymouth, Buckingham University, ENST Toulouse u.a. Ausgezeichnete Kooperation wurde mit Netzbetreibern (Telekom Austria, EUTELSAT, Telespazio, Deutsche Telekom) sowie mit der Industrie etabliert. Mit der Satellitenbodenstation am Observatorium Lustbühel (Abb. 2) wurde eine international anerkannte Forschungseinrichtung geschaffen, die für Satellitendatenübertragungs- und Wellenausbreitungsexperimente seit 1976 erfolgreich eingesetzt wird. Das INW nahm in Kooperation mit der ESA, der EU und zahlreichen Laboratorien in Europa an einem der ersten Projekte in Europa zur Übertragung großer Datenmengen über Satellit bei hohen Geschwindigkeiten teil. Aus dem Projekt STELLA (Satellite Transmission Experiment Linking Laboratories) wurde ein System zur Verbindung von Lokalen Rechnernetzen (LANs) über Satellit entwickelt (SATINE - Satellite Internetworking Experiment). Bereits 1988 konnte das Institut mit



Abb.2: Satellitenantennenanlage am Lustbühel, Graz

englischen und italienischen Partnern bei zwei internationalen Konferenzen eine ausgezeichnet funktionierende Einrichtung vorführen, die gleichzeitig Computerdatenübertragung, digitale Sprach- und Bildübertragung bei optimaler Ausnutzung der Satellitenkapazität gestattete. Dies wird heute allgemein unter dem Begriff „Multi-media-Kommunikation“ zusammengefasst.

Gemeinsam mit Joanneum Research wurden neue Kommunikationsdienste entwickelt und im praktischen Einsatz getestet. Besonders erwähnt sei ein satellitengestütztes Videokonferenzsystem, das erfolgreich anlässlich der AUSTROMIR-Mission zur Verbindung von Graz, Wien und dem Flugleitzentrum bei Moskau eingesetzt wurde und eindrucksvoll die Vorteile der Satellitennachrichtentechnik zur Bereitstellung von schnellen Datenverbindungen in Gebieten demonstrierte, wo diese nicht oder sehr schwer verfügbar sind. In der Folge wurde das System DICE (Direct Inter-Establishment Communications in Europe) für die deutsche MIR-Mission eingesetzt und war das primäre Kommunikationsmedium der ESA während der EUROMIR-94 und -95-Missionen. Insgesamt wurden 25 Satellitenterminals in Europa errichtet. In der Folge wurden die in Graz entwickelten Satellitenkommunikationseinrichtungen für Tele-Ausbildung und seit 1996 für das sehr wichtige Gebiet der Telemedizin erfolgreich eingesetzt. Krankenhäuser in Mailand, Rom, Sarajewo, Tirana und Bukarest wurden mit Satellitenterminals ausgestattet. Ärzte in einem anderen Land erhalten in kürzester Zeit auf elektronischem Weg Röntgen- und Computertomographiebilder via Satellit. Simultane Video- und Sprachverbindungen erlauben die medizinische

Konsultation über Tausende von Kilometern. Damit können die medizinischen Dienstleistungen in Krisengebieten oder solchen ohne ausreichende Infrastruktur signifikant verbessert werden. Seit 1992 wird im Auftrag der ESA an einem integrierten Satelliten-Multi-Mediasystem gearbeitet, das die gleichzeitige Vernetzung von LANs, ISDN-Anlagen und Video/Sprachübertragungseinrichtungen erlaubt. Das daraus entstandene Produkt LISSY („Local Network Interconnection via Satellite Systems“) wird bereits von namhaften Netzbetreibern (EUTELSAT, Telenor, Telekom Austria) verwendet. Die Produktion der Geräte erfolgte durch eine steirische Firma. In Zusammenarbeit mit dem Nortel Dasa-Konzern und Joanneum Research erfolgt die Entwicklung eines kostenoptimierten Produktes, das Geschwindigkeiten bis zu 65 Mbit/s erlaubt, was eine wesentlich höhere Datenrate darstellt, als in vielen Gebieten über terrestrische Leitungen verfügbar ist.

Pionierarbeit wurde auch in der Erschließung neuer Frequenzbereiche geleistet. Im Auftrag der österreichischen Post wurden Untersuchungen der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen bei Frequenzen über 10 GHz und vor allem bei 20/30 GHz durchgeführt. Die in Graz entwickelte 20/30 GHz-Bodenstation war eine der ersten in Europa einsatzfähigen. Dieser Frequenzbereich wurde gerade in jüngster Zeit für interaktive Satellitenanwendungen äußerst wichtig.

Darüber hinaus arbeitet das Institut intensiv an theoretischen Untersuchungen neuer Modulations- und Vielfachzugriffsverfahren. Einen weiteren Schwerpunkt stellt die Untersuchung und Entwicklung von leistungsfähigen Codierverfahren zur automatischen Fehlerkorrektur dar, was vor allem für die Satelliten-nachrichtentechnik von wesentlicher Bedeutung ist.

### **Radartechnik, Hochfrequenztechnik und Mikrowellenausbreitung** (Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. W. Randeu)

Diesem Arbeitsgebiet zugrunde liegt die Notwendigkeit der detaillierten Erforschung der Ausbreitung von Mikrowellen (vorwiegend Satellitenfunksignale, aber auch terrestrische Richtfunk- und Radarsignale) in der wettergestörten Troposphäre. Dabei sind insbesondere Niederschläge wie Regen, Schneefall und Hagel, bei höheren Frequenzen (ab etwa 35 GHz) aber auch Wolken von ausschlaggebender Bedeutung. Bereits ab dem Jahr 1974 wurden, durchwegs im Auftrag internationaler Raumfahrtorganisationen (ESA, INTELSAT), passive Messverfahren für die Qualitätsbeurteilung von Funkverbindungen bei 12, 20 und 30 GHz zwischen geostationären Satelliten und einzelnen oder mehrfachen

(„Site Diversity“) Bodenstationen implementiert und erfolgreich angewandt. Auswertungen dieser Messungen ergaben, dass für stichhaltige Begründungen und vertiefende Studien die Kenntnis der Feinstruktur der Niederschlagspartikel und ihrer Ansammlungen in der Troposphäre sowie der zwischen ihnen und den Funkwellen stattfindenden Wechselwirkungen – Streuung und Absorption – unerlässlich ist. Diese Forderungen führten zum zusätzlichen Einsatz aktiver Messverfahren, insbesondere der Wetterradartechnik als Mittel für die Fernmessung der Grob- und Feinstruktur von Niederschlagszellen.

In Folge wurde als Kernstück des Forschungs- und Lehrgebietes, welches aus historischen und organisatorischen Gründen in enger Kooperation mit dem Institut für Angewandte Systemtechnik (IAS) der Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH bearbeitet wird, die Multi-Parameter-Wetterradarstation Graz/Hilmwarte geschaffen (siehe Abb. 3). War das ursprüngliche und hauptsächliche Ziel der Forschungstätigkeit mit dem Forschungs-Wetterradar Hilmwarte die zuvor angesprochene Vertiefung der Kenntnisse über die



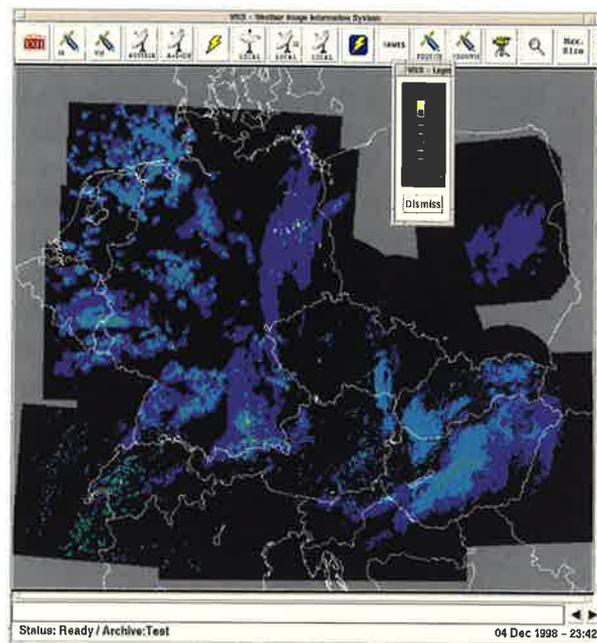
**Abb.3: Multi-Parameter-Wetterradarstation Graz/Hilmwarte, Joanneum Research**

Störung von Mikro- und Millimeterwellen durch troposphärische Niederschläge, so führte die detaillierte Befassung mit der radargestützten Niederschlagsmessung bald zu weiteren Anwendungen und Verwertungen. So wurde ein Großteil der nachrichtentechnischen und informatischen Komponenten für das von Austro Control GmbH betriebene österreichische Wetterradarnetz (Stationen: Schwechat, Zirbitzkogel, Salzburg und Patscherkofel) entwickelt und erfolgreich realisiert. Mit Hilfe dieser Einrichtungen wurde ein landesweiter Zugriff auf die rund um die Uhr aufgenommenen, derzeit alle 10 Minuten verfügbaren Niederschlagsbilder nahezu in Echtzeit ermöglicht. Davon profitieren nicht nur die Wetterdienste als Hauptanwender, sondern auch eine Reihe anderer Nutzer von Wetterradarbildern, z.B. EVUs, Hydrologische Dienste, Straßendienste und Kabel-TV-Betreiber.

Ein damit zusammenhängendes Arbeitsgebiet stellt die weitere Verbesserung der Messgenauigkeit und Funktionalität des österreichischen Wetterradarnetzes dar. Dabei werden neueste Methoden für die bestmögliche Kalibrierung der Geräte und der zur Niederschlagsermittlung verwendeten Algorithmen und Parameter eingesetzt.

Über Österreich hinausgehend wurde die am Sektor Wetterradartechnik und -vernetzung aufgebaute Kompetenz in der Schaffung des zentraleuropäischen Wetterradarverbands „CERAD“ verwertet. In diesem Vorhaben, welches in Kooperation mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) durchgeführt wurde, wurde ein Zusammenschluss der Wetterradarnetze von 10 mitteleuropäischen Ländern (A, CH, HR, CZ, D, H, I, PL, SK, SLO) trotz geringen Mitteleinsatzes erfolgreich realisiert. Ein Beispiel eines derartigen CERAD-Niederschlagsbildes, welches alle 30 Minuten zur Verfügung steht, ist in Abb. 4 gezeigt. Aufgrund des bei CERAD erzielten Erfolges wurde die Koordinierung und maßgebende Realisierung des zukünftigen gesamteuropäischen Wetterradarnetzes wieder dem Institut übertragen (Projekt 'OPERA' von EUMETNET, einer Organisation der westeuropäischen Wetterdienste).

Die Teilnahme an COST-75 führte zur Definition und Spezifikation der nächsten Generation von Wetterradargeräten, welche ab etwa 2005 bis 2010 in die praktische Routineanwendung kommen sollen. Diese Wetterradars, welche vor allem für die Gefahrenwettererkennung und -prognose von Bedeutung sind, sollen jede Minute eine vollständige Niederschlags erfassung im Umkreis von 200 km möglich machen (mit herkömmlichen Anlagen dauert dies zwischen 5 und 10 Minuten).



**Abb.4:** Beispiel für ein zentraleuropäisches Wetterradarbild aus dem sog. CERAD-Netz (mit 10 teilnehmenden Ländern), in dem die Niederschläge in ihrer Intensität durch Farben kodiert sind.

Eine weitere wetterbezogene Anwendung der Radartechnik stellt die Messung von vertikalen Windprofilen mittels gepulstem Doppler-Radar dar. Am Institut wurde dafür der Prototyp eines 1280-MHz-Windprofilers entworfen und gebaut, welcher bis zu einer Höhe von 5 km alle 50 m Windgeschwindigkeit und -richtung fernmessen kann.

Ein verwandtes Tätigkeitsfeld etablierte sich ab 1987, nämlich die Entwicklung und Herstellung von gepulsten Doppler-Radargeräten für die Detektion, Verifizierung und dynamische Vermessung von Schnee- und Eislawinen. Bislang wurden 2 ortsfeste Anlagen für den Straßenbauhof Rautz/Arlberg sowie eine transportable Anlage für das Institut für Lawinen- und Wildbachforschung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Innsbruck realisiert und erfolgreich zur Anwendung gebracht. Für das letztgenannte Radar wurde im Rahmen eines EU-Projekts ('SAME' - Snow Avalanche Monitoring in Europe) noch eine Zusatzeinrichtung zur Unterscheidung der Fließ- und Staubanteile von Lawinen geschaffen.

Letztlich erstreckt sich die Befassung mit Mikrowellen und höchsten Frequenzen auch auf messtechnische Applikationen im industriellen Bereich. So wurden (wie bei allen zuvor genannten Projekten im Zusammenhang mit Diplom- und Projektarbeiten) Geräte für die Messung des Wassergehalts von Biomasse und Kraftwerkskohle geschaffen, beide in Kooperation mit der STEWEAG. Weiterentwicklungen und Verbesserungen sind im Gange.

## Optische Nachrichtentechnik

(Dipl.-Ing. E. Leitgeb)

Am Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung gibt es einen Arbeitsbereich, in dem die optische Übertragung von Nachrichten behandelt wird. Dabei werden Untersuchungen im optischen Übertragungsbereich durchgeführt, Sende- und Empfangsschaltungen entwickelt und Störungen in der Übertragungsstrecke ausgewertet. Es wird sowohl die Durchgabe von Nachrichten über Lichtwellenleiter als auch über den freien Raum erforscht. Erwähnenswert ist auch, dass gerade in diesem Bereich sehr viele Diplomarbeiten und Nachrichtentechnik-Projektarbeiten durchgeführt werden. Der Grund liegt darin, dass es sich hier um einen relativ jungen Forschungsbereich handelt, der für die Studenten interessant ist und international sehr an Bedeutung gewonnen hat.

Hauptarbeitsbereiche sind dabei die Entwicklung von optischen Übertragungsstrecken über Lichtwellenleiter, die bidirektionale Übertragung über Lichtwellenleiterfasern (Längenwellenmultiplex), Entwicklung von optischen Freiraumübertragungsstrecken, Untersuchungen an Freiraumübertragungsstrecken in Bezug auf Witterungseinflüsse, Entwicklung verschiedener Modulations- und Demodulationsschaltungen für die optische Nachrichtentechnik, Untersuchungen an optischen Dämpfungsgliedern und Untersuchungen im Labor und Entwicklung optischer Messstrecken.

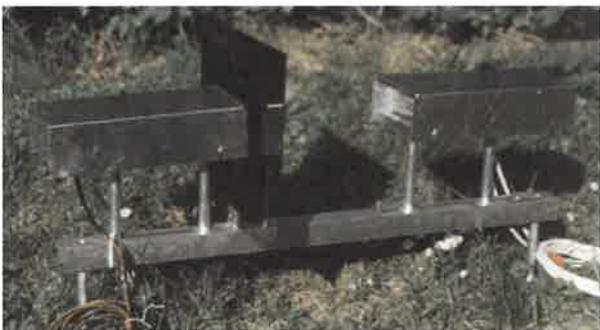


Abb. 5: Optische Übertragungsstrecke zur Niederschlagsbestimmung

## Hochatmosphären- und Ionosphärenforschung

(Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. M. Friedrich)

Messungen in der sogenannten „Middle Atmosphere“, wozu man den Bereich der Mesosphäre und der unteren Thermosphäre zählt, sind für örtliche Messungen („in situ“) nur mit Hilfe von Höhenforschungsraketen zugänglich. Für die Funkwellenausbreitung ist in erster Linie der ionisierte Anteil der Hochatmosphäre wichtig, da die freien Elektronen einerseits die Welle zum Boden reflektieren und andererseits auch absorbieren. Zur Zeit

der Gründung des Institutes stellte eine gute Kenntnis der Elektronendichten in der Ionosphäre noch eine wichtige Größe für die drahtlose Nachrichtentechnik dar. Das erste österreichische Messgerät, welches in den erdnahen Weltraum geflogen wurde, war daher ein Gerät zur Bestimmung der Dichte freier Elektronen; dass dabei die doppelbrechende Eigenschaft der Ionosphäre verwendet wurde, passt gut zu dem Lehrfach „Wellenausbreitung und Antennen“. Die Bestimmung von Elektronendichten der unteren Ionosphäre war und ist daher die Grundlage aller Messungen, und das Institut hat in diesem speziellen Gebiet ein Ansehen erworben, woraus sich nahezu eine Monopolstellung für diese Art von Messungen entwickelt hat. Höhenforschungsraketen sind zwar um Größenordnungen kleiner und billiger als Satelliten, trotzdem wird üblicherweise die Instrumentierung einer Nutzlast von mehr als einer Forschungsanstalt beigestellt. Das Institut wurde stets dann eingeladen, an solchen Flügen teilzunehmen, wenn eine Kenntnis der Elektronendichte für das wissenschaftliche Gesamtziel erforderlich war. Begleitende Messgeräte waren daher u.a. Massenspektrometer zur Bestimmung von positiven Ionen, Partikelspektrometer um Flüsse ionisierender Teilchen zu messen oder Messungen der Dichte von Spurengasen, die für die Bildung der Ionosphäre von Bedeutung sind.

Die moderne Atmosphärenphysik kann dank schneller und leistungsfähiger Rechner das Verhalten der Atmosphäre als Funktion der Jahreszeit, des Energieinputs der Sonne, aber auch der von Menschen verursachten Emission von Gasen, die Zusammensetzung, die Temperatur oder auch die Dynamik berechnen. Diese sehr aufwendigen Modellrechnungen benötigen neben Inputs auch Messdaten verschiedener Atmosphärenparameter, um die Gültigkeit der Modellrechnung zu untersuchen. Natürlich sollen die am Boden beobachtbaren mittleren meteorologischen Zustände simuliert werden, daneben ist es aber sehr aufschlussreich, wenn man kontrollieren kann, ob auch die in größeren Höhen gemessenen Parameter zumindest annähernd richtig modelliert werden. Viele chemische Reaktionen der hohen Atmosphäre laufen über ionisierte Zustände ab, weshalb die dabei entstehenden freien Elektronen einen Output solcher Berechnungen darstellen, der mit Hilfe von Daten überprüft werden muss. Es hat also die genaue Kenntnis des Verhaltens der Variation freier Elektronen eine Bedeutung für eine Anwendung bekommen, an die man zur Anfangszeit solcher Messungen nicht gedacht hat. Die Fernerkundung der Atmosphäre mit Hilfe von Satelliten hat eine

große Datenbasis von Temperatur, Zusammensetzung und Winden geliefert, mit deren Hilfe man wieder theoretische Modelle testen kann. Unter diesen Spurengasen ist etwa NO, dessen Dichteverteilung erstmalig global gemessen werden konnte. Dieses Gas stellt wegen seiner niedrigen Ionisationsschwelle die wichtigste Quelle freier Elektronen in der sogenannte D-Schicht dar (70 bis 100 km), weshalb es naheliegend war, die Gültigkeit dieser neuen Messdaten anhand geeigneter gemittelter Elektronendichtewerte zu überprüfen. Um die nur relativ geringe Anzahl von Elektronendichtewerten aus der unteren Ionosphäre für solche und ähnliche Vergleichszwecke heranziehen zu können, wurden alle jemals gemessenen Profile (ca. 250) an eine physikalisch sinnvolle analytische Funktion angepasst. Natürlich gibt es Unterschiede zwischen individuell gemessenen Profilen und dem korrespondierenden Modellwert, so wie etwa auch das momentane Wetter sich vom langjährigen Klima unterscheidet. Ähnlich wie die Tageslichtwerte Rückschlüsse auf die Dichte von NO erlauben, kann man aus den Elektronendichteprofilen der Nacht Rückschlüsse auf die Höhenverteilung von atomarem Sauerstoff ziehen.

### Genauere Zeit und Frequenz

(Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. D. Kirchner)

Für verschiedenste Anwendungen, wie schnelle digitale Nachrichtenübertragung, Positionsbestimmung und Navigation, Bahnbestimmung von Satelliten und anderen Raumflugkörpern, geodätische Untersuchungen und geodynamische Forschung, Radioastronomie, Synchronisation von verteilten Echtzeitsystemen sowie Metrologie und naturwissenschaftliche Grundlagenforschung verschiedener Fachgebiete ist genaue Frequenz und Zeit von fundamentaler Bedeutung. Zum breiten Anwendungsbereich von genauer Frequenz und Zeit trägt bei, dass die Zeit die am genauesten messbare physikalische Größe ist und man daher versucht, alle Messungen auf Zeitmessungen zurückzuführen, und dass nahezu alle modernen komplexen Systeme zeitorientiert sind.

Das notwendige einheitliche Bezugssystem ist die Internationale Atomzeitskala (TAI) und davon abgeleitet die Koordinierte Weltzeitskala (UTC), welche aus Zeitskalen einzelner Atomfrequenznormale, die sich in über die Erde verteilten Laboratorien befinden, vom Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) in Paris durch Mittelungsprozess gebildet wird. Die Koordinierte Weltzeitskala, die durch das fallweise Einfügen oder Auslassen von Sekunden (Schaltsekunden) mit der Weltzeit (UT) - abgeleitet aus der Drehung der Erde um Ihre



Abb.6: Zweistufige Feststoffrakete unmittelbar nach dem Start

Achse - in Übereinstimmung gehalten wird, stellt die Basis für die Bestimmung der jeweiligen Zonenzeit (Lokalzeit) und damit der gesetzlich gültigen Zeit dar. Eines der Laboratorien und damit eine Zutrittstelle zur Internationalen Atomzeitskala, die selbst nur als errechnete Zeitskala im Nachhinein vorliegt, ist das Zeitlaboratorium am Observatorium Lustbühl Graz, das vom Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung der Technischen Universität Graz in Kooperation mit der Abteilung für experimentelle Weltraumforschung des Instituts für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften betrieben wird und die Zeitskala UTC(TUG) generiert.

Außer der Generation einer lokalen Zeitskala, wofür hochgenaue Frequenznormale erforderlich sind, ist es notwendig, diese mit anderen Zeitskalen an weit entfernten Orten zu vergleichen, um die lokale Zeitskala mit der Koordinierten Weltzeitskala in Übereinstimmung zu bringen und zu halten. Die Entwicklung von hochgenauen Frequenznormalen und Zeitvergleichsverfahren stand und steht in engem Zusammenhang mit der Entwicklung der Navigation, Messtechnik, Grundlagenforschung und Nachrichtentechnik. Neben Genauigkeit und Stabilität der örtlich generierten Zeitskala sind Reichweite und Genauigkeit der angewendeten Zeit- bzw. Frequenzvergleichsverfahren von größter Wichtigkeit. Beide Eigenschaften stehen bei Anwendung von

Funksignalen oder optischen Signalen in engem Zusammenhang mit der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen, die im Allgemeinen ja nicht im freien Raum, sondern in einem bestimmten Medium unter bestimmten Randbedingungen erfolgt, was zu gewissen Einschränkungen führt. Für terrestrische Verfahren sind große Reichweite und hohe Genauigkeit unvereinbar. Gelöst werden kann dieses Problem durch Anwendung von Satellitenverfahren. Wie bei terrestrischen Verfahren ist aber zu beachten, dass auch bei der Verwendung von Satelliten die Signalausbreitung nicht völlig im freien Raum (Vakuum) erfolgt, sondern die Einflüsse der Erdatmosphäre (Troposphäre und Ionosphäre) berücksichtigt werden müssen, wobei sich der Einfluss über den weiten verwendeten Frequenzbereich - von Ultrakurzwellen bis in den sichtbaren Bereich - wesentlich ändert. Bei den mit Satellitenverfahren erreichten hohen Genauigkeiten ist es wie beim Uhrentransport notwendig, relativistische Effekte zu berücksichtigen, und es ergibt sich andererseits die Möglichkeit, Aussagen der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie zu überprüfen.

Um den steigenden Anforderungen an die Zeithaltung - in den letzten 30 Jahren mehr als eine Größenordnung

pro Jahrzehnt - nachzukommen, ist es notwendig, Frequenznormale, die nach etablierten Prinzipien arbeiten, zu verbessern und neue Frequenznormale zu entwickeln. Um den Zeitvergleich mit der adäquaten hohen Genauigkeit durchführen zu können, ist es erforderlich, das vorhandene Genauigkeitspotential des Satellitenzeitvergleichs zu nutzen und die dafür notwendigen Verfahren zu entwickeln bzw. weiterzuentwickeln. Seit Ende der 70er Jahre wird im Zeitlaboratorium am Observatorium Lustbühel Graz auf dem Gebiet des Satellitenzeitvergleichs in weltweiter Kooperation Forschung betrieben. Das Zeitlaboratorium am Observatorium Lustbühel Graz ist die einzige Forschungsstelle dieser Art in Österreich, und Österreich ist über das Zeitlaboratorium auch in internationalen Gremien, wie der International Telecommunication Union (ITU) und dem Comité Consultatif du Temps et des Fréquences (CCTF) vertreten.



Abb.7: Zeitstation im Observatorium Lustbühel