



Wer prägte das Institut für Elektronik der Akademie der Wissenschaften der DDR?

Zum 50. Jahrestag der Gründung des Instituts für Elektronik

Dieter Oertel

Veröffentlicht: 1. Juni 2023

Abstract

This article provides an overview of the key persons, projects and space missions of the Institute of Electronics of the Academy of Sciences of the GDR, established on 1 May 1973, i. e. 50 years ago. The Institute of Electronics was the predecessor of the Institute of Space Research of the Academy of Sciences of the GDR, founded on 1 April 1981 which was transferred into the German Aerospace Centre (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – DLR) on 1 January 1992. The Institute of Electronics participated in a great number of “Interkosmos” satellite missions, sounding rocket campaigns, and it was responsible for the development of the Spectrometers – Interferometers (SI-1) built by four institutes of the Academy of Sciences in Berlin Adlershof and flown on the Soviet meteorological satellites “Meteor-25, -28 and -29”.

Zusammenfassung

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über Schlüsselpersonen, Projekte und Weltraum-Missionen des Institutes für Elektronik der Akademie der Wissenschaften der DDR, das am 1. Mai 1973 gebildet wurde, also vor 50 Jahren. Das Institut für Elektronik war der Vorläufer des Institutes für Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR, das am 1. April 1981 gegründet wurde und das am 1. Januar 1992 in das Deutsche Zentrum für Luft-Raumfahrt (DLR) überführt wurde. Das Institut für Elektronik nahm an einer großen Zahl von Missionen auf „Interkosmos“-Satelliten und Raketen-Sondierungskampagnen teil, und es war verantwortlich für die Entwicklung des Spektrometer – Interferometers (SI-1), gebaut von vier Instituten der Akademie der Wissenschaften in Berlin Adlershof und geflogen auf den sowjetischen meteorologischen Satelliten “Meteor-25, -28 und -29”.

Keywords/Schlüsselwörter:

„Intercosmos“-missions, spectrometers on satellites, remote sensing
„Interkosmos“-Missionen, Spektrometer auf Satelliten, Fernerkundung

Einleitung

Am Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Adlershof (WISTA) befinden sich das Institut für Optische Sensorsysteme und das Institut für Planetenforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR-OS) und (DLR-PF), sowie das mittelständische

Unternehmen Astro- und Feinwerktechnik Adlershof GmbH. Fachliche Wurzeln dieser Einrichtungen liegen im Institut für Kosmosforschung (IKF), welches aus dem Institut für Elektronik (IE) der Akademie der Wissenschaften der DDR hervorging. Das Institut für Elektronik wurde vor 50 Jahren am 1. Mai 1973 aus der Forschungsstelle für kosmische Elektronik (FKE) gebildet, was Ende 1972 aus dem Zentralinstitut für Solar-Terrestrische Physik/Heinrich-Hertz-Institut (ZISTP/HHI) herausgelöst wurde.

Der Direktor des ZISTP/HHI, Prof. Dr. Ernst August Lauter, hatte schon zuvor im Auftrag des Ministeriums für Wissenschaft und Technik der DDR Wissenschaftler aus verschiedenen Struktureinheiten der Deutschen Akademie der Wissenschaften (DAW) zusammengeführt, um wissenschaftliche und instrumentelle Beiträge zum „Interkosmos“-Programm der sozialistischen Länder zur Erforschung und Nutzung des Weltraums für friedliche Zwecke¹ zu leisten. Abb. 1 zeigt eine Übersicht über die Leiter der Akademie Einrichtungen und Gremien, die von 1967 bis 1991 unmittelbar mit „Interkosmos“ befasst waren (Hein-Weingarten 2000).

Institutsdirektor	Stellvertreter	Leiter FoB	Akademiepräsident	Generalsekretär AdW
Ludwig Mollwo 1961 bis 1967 HHI			Werner Hartke 1956-1968	Günther Rienäcker 1957-1968
Ernst August Lauter 1967 bis 1973 OIF, ZISTP		Hans Jürgen Treder 1968 -1972	Hermann Klare 1968-1979	Ernst August Lauter 1968-1972
	Hans Wittbrodt 1972 bis 1973 ZISTP			Claus Grote 1972-1990
Hans Wittbrodt 1973 FKE		Heinz Stiller 1973-1984		
Hans Joachim Fischer 1973 bis 1981 IE				
Robert Knuth 1981 bis 1988 IKF	Ralf Joachim 1975 bis 1991 und Hermann Zapfe 1981 bis 1991 IE und IKF		Werner Scheler 1979-1990	
Heinz Kautzleben 1989 bis 1991 IKF		Heinz Kautzleben 1984-1990		
Herbert Jahn 1991 IKF	Rainer Sandau 1991 IKF		Horst Klankmann 1990-1991	

Abb. 1. Übersicht über die Leiter der Akademieeinrichtungen und -gremien, die von 1967–1991 unmittelbar mit „Interkosmos“ befasst waren.² (Quelle: Hein-Weingarten 2000)

Aus dem Institut für Elektronik wurde am 1. April 1981 das Institut für Kosmosforschung (IKF) der AdW der DDR gebildet. Über das IKF erschienen in der Internetzeitschrift „Leibniz-Online“ 2021/Nummer 43 ein Beitrag des irischen Journalisten Brian Harvey mit dem Titel „40. Jahrestag der Gründung des Institutes für Kosmosforschung – eine

¹ „Abkommen über die Beteiligung an der Erforschung und Nutzung des Weltraumes mit Hilfe von künstlichen Erdsatelliten zu friedlichen Zwecken“ (Interkosmos) zwischen den Regierungen der Sowjetunion und weiterer sozialistischer Länder von 1967.

² OIF steht für Observatorium für Ionosphärenforschung (Kühlungsborn); „FoB“ – steht für den Forschungs-Bereich Geo- und Kosmoswissenschaften der AdW. Richtigstellung: Ralf Joachim war am IE und am IKF von 1975 bis 1991 Stellvertretender Direktor. Hermann Zapfe war, neben Ralf Joachim, von 1981–1991 nur am IKF Stellvertretender Direktor.

persönliche Reflexion“ (Harvey 2001),³ sowie Anmerkungen zu diesem Beitrag von Heinz Kautzleben, Dieter Oertel (Oertel 2021) und Dietrich Spänkuch.

Das IKF war bekannt sowohl in der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR), die 1989 in Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) umbenannt wurde, als auch in der damaligen Deutschen Agentur für Raumfahrt-Angelegenheiten (DARA) in Bonn. Es gab ab 1990 starkes Interesse im Vorstand des DLR und in der Leitung der DARA, das fachliche Potential des IKF sowohl in Berlin-Adlershof als auch in der Satellitenbodenstation Neustrelitz zu erhalten. Im Ergebnis eines sogenannten *Evaluierungsprozesses* durch Wissenschaftler aus den „alten Bundesländern“ gab es die *Empfehlung des Wissenschaftsrates* der BRD, die Arbeiten auf den Gebieten der Weltraumsensorik und Planetenforschung des ehemaligen IKF der DDR und die aus dem DLR-Standort Oberpfaffenhofen nach Berlin zu verlagernde Planetenerkundung zusammenzuführen und zu konzentrieren (Schrogl/Schmidt-Tedd 2004). Das bildete die Grundlage, das Institut für Kosmosforschung (IKF) zum 1.1.1992 in das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) zu integrieren. Am neuen DLR-Standort Berlin Adlershof (DLR-BA) wurde 1992 das *Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung* gegründet, welches 1994 in zwei Institute geteilt wurde, und zwar in das *Institut für Weltraumsensorik (DLR-WS)* und das *Institut für Planetare Erkundung (DLR-PE)*.

Prof. Dr. Robert Knuth, langjähriger Mitarbeiter des ZISTP(HHI), Bereichsleiter der Satellitenbodenstation Neustrelitz im IE und erster Direktor des IKF, leitete nach 1992 im DLR Berlin-Adlershof den Aufbau eines Archivs für alle Aktivitäten der DDR in der Kosmosforschung seit 1958. Damit schuf er u.a. eine solide Grundlage für die Dissertation von Katharina Hein-Weingarten zum Thema „Das Institut für Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR“ (Hein-Weingarten, 2000), die auch B. Harvey in seinem Beitrag „Forgotten Space Agency, Who has heard of the IKF?“ (Harvey 2022) für die britische Zeitschrift „Space Chronicle“ als eine Quelle nennt. Die beiden Abhandlungen von Brian Harvey zum IKF (Harvey 2021) und (Harvey 2022) sind ein journalistisch interessanter Blick von außen auf das IKF mit bemerkenswerten Verallgemeinerungen, wie (das IKF hat):

- „bedeutende, eigenständige Programme durchgeführt und so auch der Bundesrepublik der 1990er Jahre ein erhebliches Erbe hinterlassen“ oder
- „einen wesentlichen Baustein für die folgende europäisch-russische Zusammenarbeit geliefert.“

Hier folgt nun eine fünfzig Jahre rückblickende Betrachtung zu prägenden Forschungs- und Entwicklungsleistungen des Instituts für Elektronik der AdW mit den Augen eines „Insiders“, der insgesamt 32 Jahre im ZISTP/HHI, in der FKE, im IE und im IKF als wissenschaftlicher Mitarbeiter, Abteilungsleiter und Bereichsleiter tätig war.

Ein besonderes Anliegen dieses Beitrages ist es, die Rolle der fachlich führenden Personen des IE und des IKF in der aktivsten Phase der Zusammenarbeit im Rahmen von „Interkosmos“ darzustellen, und zwar ausgewogener, d. h. institutsbezogener als in Harvey (2021) und Harvey (2022) und wesentlich kompakter als in Hein-Weingarten (2000), wobei sich der Autor als subjektiver Zeitzeuge sieht, der am 1. April 1969 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im ZISTP/HHI eingestellt wurde und seit 1978 bis Ende 1991 im IE bzw. IKF selbst einen wissenschaftlichen Bereich leitete.

³ Dieser Aufsatz entstand etwa gleichzeitig mit seiner Abhandlung „Forgotten Space Agency. Who has heard of the IKF?“, die im britischen Journal *Space Chronicle* 2-3 im Jahr 2022 erschien (Harvey 2022).

Die wissenschaftlichen Bereiche des Institutes für Elektronik

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die wissenschaftlichen Bereiche des Institutes für Elektronik, welches von Prof. Hans-Joachim Fischer und seinem Stellvertreter Dr. Ralf Joachim geleitet wurde.

Nicht enthalten in Tabelle 1 sind die Arbeitsgruppe Kosmische Materialwissenschaften und die 1978 dem IE angegliederte Abteilung Nachrichtentechnik.

Im weiteren Text dieser Abhandlung werden die Namen der Bereiche und die wissenschaftlichen Titel ihrer Leiter verwendet wie in Tabelle 1 angegeben, auch wenn sie sich später, z.B. im IKF, verändert haben sollten.

Charakteristisch für die wissenschaftliche Tätigkeit des Institutes für Elektronik in den siebziger Jahren war die aktive Mitarbeit an der Ausrüstung von Höhenraketen und künstlichen Erdsatelliten vom Typ „Kosmos“, „Interkosmos“ und „Meteor“ sowie an der Durchführung und Auswertung dieser Experimente und Missionen, vorrangig in den Fachgebieten bzw. den gleichnamigen „Interkosmos“- Arbeitsgruppen *Kosmische Physik*, *Kosmische Meteorologie* und *Fernerkundung* (ab 1975). Das IE war dem Wissenschaftlichen Forschungsbereich der AdW „Geo- und Kosmoswissenschaften“ zugeordnet, der von Akademiemitglied Prof. Dr. Treder bis 1973 und Prof. Dr. Stiller von 1973 bis 1984 geleitet wurde.

Wiss. Bereich (Bereichs-Nr.)	Bereichsleiter	Anmerkungen
Satellitenbodenstation (3)	Dr. Robert Knuth	am Standort Neustrelitz
Informationselektronik (4)	Prof. Dr. Karl-Heinz Schmelovsky	
Extraterrestrische Experimente (5)	Dr. Gerhard Zimmermann ⁴	
Theorie und Regelungsprobleme (6)	Dr. Volker Kempe - bis 1978 Dr. Dieter Oertel – ab 1978	Dr. Kempe wurde 1978 Direktor des Institutes für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW.

Tabelle 1: Übersicht über die Fachbereiche des Instituts für Elektronik.

Karl Heinz Schmelovsky und Robert Knuth waren als Wissenschaftler am Observatorium für Ionosphärenforschung in Kühlungsborn, welches Prof. Dr. E. A. Lauter leitete, Anfang der 1960 Jahre u. a. mit der Auswertung der Daten von Sputnik 3 befasst – siehe Klinker, Schmelovsky, Knuth (1960) – was zweifelsfrei eine Pionierarbeit mit der erstmaligen Nutzung von Satellitenmessdaten bei der Erforschung der Ionosphäre darstellte und eine hohe internationale Anerkennung fand.

Prof. Dr. Schmelovsky und Dr. Knuth hatten zusammen mit Hans-Joachim Fischer, unterstützt von Dr. Gerhard Zimmerman und Dr. Volker Kempe, schon fünf Jahre zuvor begonnen „an dem Haus zu bauen“, was am 1. Mai 1973 als Institut für Elektronik

⁴ Dr. Zimmermann musste für einige Jahre seine Funktion als Leiter des Bereiches an Dr. K.-H. Bischoff abgeben, weil er von einer Schiffs-Expedition eine Ansichtskarte an sein Bereichskollektiv mit unangemessenen Äußerungen über den Kapitän des sowjetischen Expeditionsschiffes gesendet hatte.

„bezogen werden konnte“, und wo auch der Sekretär des Koordinierungskomitees „Interkosmos“ der DDR, Dr. Ralf Joachim, ab 1974 sein Büro hatte.

Als das IE gebildet wurde, flogen schon drei Lyman- α -UV-Fotometer aus Berlin Adlershof auf den „Interkosmos“-Satelliten IK-1, IK-4 und IK-7 sowie der Sender „Majak“ (russisch für Leuchtturm) auf IK-2.

Dr. Robert Knuth / Bereich 3 – Satellitenbodenstation Neustrelitz

Dr. Robert Knuth wurde 1967 mit dem Aufbau einer nationalen Satellitenbodenstation zum Empfang und der Vorverarbeitung der Daten, insbesondere von „Interkosmos“-Satelliten am Observatorium Neustrelitz, Bereich II des Heinrich Hertz-Instituts (HHI) für solar-terrestrische Physik der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, beauftragt. Das war eine herausfordernde Aufgabe, die er mit seinem konsequenten und pragmatischen Führungsstil meisterte, der von seinen Mitarbeitern uneingeschränkt mitgetragen wurde.

Abb. 2 zeigt, wie Dr. Robert Knuth beim Transport des Parabolspiegels der ersten S-Band-Antenne der Satellitenbodenstation selbst mit „Hand anlegt“.

Abb. 3 zeigt die Baustelle des neuen Gebäudes für die Empfangsanlagen und Rechner der Satellitenbodenstation, welches 1978 entstand.

Abb. 4 zeigt eine Antenne für den Datenempfang von meteorologischen Satelliten an der Satellitenbodenstation Neustrelitz, die wie fast alle dort vorhandenen Empfangsantennen mit einem Antriebssystem zur Nachführung der sogenannten „Empfangskeule“ entlang der Flugbahn der Satelliten ausgerüstet ist.

Es war das große Verdienst von Robert Knuth, dass die mit der Gründung des „Instituts für Elektronik“ erfolgte thematische Hinwendung des Bereiches Neustrelitz zu technischen Fragestellungen kein ‚Aus‘ für die solar-terrestrische Forschung am Standort bedeutete. Im Gegenteil, die engagierte Entwicklung des Empfangs von Satellitensignalen in der Abteilung Elektronik ermöglichte alsbald die Nutzung von Absorptionmessungen an Bord US-amerikanischer „Solrad“-Satelliten zur Ableitung von Vertikalprofilen des atmosphärischen Sauerstoffs im Höhenbereich um 100 km.



Abb. 2. Dr. Robert Knuth, halb links vorn im weißen Hemd, beim Transport des Parabolspiegels der ersten S-Band-Antenne der Satellitenbodenstation. (Quelle: Private Fotosammlung von N. Jakowski)



Abb. 3. Baustelle des neuen Gebäudes für die Empfangsanlagen und Rechner der Satellitenbodenstation Neustrelitz.⁵ (Quelle: Private Fotosammlung von N. Jakowski)



Abb. 4. UHF-Antenne der Satellitenbodenstation Neustrelitz – um 1976. (Quelle: Information zum Empfang von Meteordaten, IE, Bereich 3, 1976)

Darüber hinaus entwickelten engagierte Mitarbeiter der Abteilung Elektronik des Bereiches 3 in Neustrelitz ein sogenanntes Faraday-Polarimeter zur Messung des Drehwinkels der Polarisationssebene linear polarisierter Funksignale, die damals u.a. von geostationären Technologie-Satelliten (ATS) der USA abgestrahlt wurden.

In Analogie zu den von Robert Knuth bereits an Signalen von Sputnik 3 ausgewerteten Messungen ist der Drehwinkel der Polarisationssebene in erster Näherung der Zahl der freien Elektronen (der „Gesamtelektronenzahl“) entlang des Strahlenweges im ionosphärischen Plasma proportional und somit hervorragend für kontinuierliche Untersuchungen der Ionosphäre geeignet.

Solche „Neustrelitzer“ Faraday-Polarimeter wurden im Rahmen der „Interkosmos“-Kooperation der sozialistischen Länder außer in Neustrelitz auch in Havanna/Kuba und Nha Trang/Vietnam aufgebaut und erfolgreich betrieben. Die mehrjährigen Messungen der Faraday-Polarimeter in Kuba ermöglichten die Entdeckung der „Nächtlichen

⁵ Im Hintergrund erkennt man die Masten alter Sende- und Empfangsanlagen

Winteranomalie‘ der Ionosphäre auf dem amerikanischen Längensektor, ein Effekt, der durch neuere Messungen mit Hilfe von Zweifrequenzmessungen an Signalen Globaler Navigations-Satelliten-Systeme (GNSS) glänzend bestätigt wurde, ebenso wie die seinerzeit gegebene physikalische Interpretation (Jakowski et al. 2015).

Der Wissenschaftler, Leiter der Satellitenbodenstation Neustrelitz des IE und Gründungsdirektor des IKF, Dr. Robert Knuth, zeichnete sich besonders aus durch:

- seine Fähigkeit, bewährte und international hoch anerkannte Forschungsarbeiten zur Ionosphärenforschung und Funkwellenausbreitung mit Methoden der Raumfahrt und den Aufbau von Satellitenempfangsanlagen an einem Standort optimal voranzubringen,
- sein langjähriges und erfolgreiches engagiertes Wirken in internationalen Gremien der Raumfahrt, wie z. B., im Committee on Space Research (COSPAR) und im Committee of Peacefull Use of Outer Space (COPUOS) der Vereinten Nationen und
- seine große Beharrlichkeit, mit der er die Ausrichtung der Forschung und der Entwicklungsarbeiten des Institutes für Kosmosforschung in der 2. Hälfte der 1980er Jahre auf die Erforschung der Erde und der erdnahen Planeten fokussierte.

Das Wirken von Robert Knuth trug wesentlich dazu bei, dass das IKF schon vor den „Wendejahren“ 1989/90 in der internationalen Fachwelt beachtete Ergebnisse und perspektivisch interessante Projekte aufweisen konnte.

Abb. 5 zeigt ein aktuelles Luftbild des DLR-Standorts Neustrelitz.



Abb. 5. Der aus der Satellitenbodenstation hervorgegangene DLR-Standort Neustrelitz im heutigen Erscheinungsbild. (Quelle: DLR)

In Neustrelitz wurde 2019 zusätzlich zur Satellitenbodenstation das *DLR-Institut für Solar-Terrestrische Physik* eröffnet, dessen Arbeitsschwerpunkt auf dem Monitoring und der Erforschung der Ionosphäre sowie der Untersuchung, Modellierung und Vorhersage von Weltraumwettereffekten auf die trans-ionosphärische Ausbreitung von Funksignalen moderner Navigations-, Kommunikations- und Fernerkundungs-Satelliten liegt.

Das ist auch eine Würdigung des nachhaltigen Wirkens von Robert Knuth bei der Transformation des Observatoriums Neustrelitz des HHI für solar-terrestrische Physik in eine leistungsfähige Satellitenbodenstation Neustrelitz, wo auch satellitengestützte Ionosphärensondierungen mit den damit einhergehenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten vor einem halben Jahrhundert erfolgten.

Robert Knuths Werdegang, seine Arbeit als Leiter des Bereiches 3 (Neustrelitz) des IE und als Gründungsdirektor des IKF werden ausführlich in einem Nachruf von 2022 gewürdigt (Oertel/ Jakowski/Spänkuch 2023).

Prof. Dr. K.-H. Schmelovsky / Bereich 4 – Informationselektronik

Prof. Dr. Karl-Heinz Schmelovsky wurde 1967 vom Observatorium für Ionosphärenforschung Kühlungsborn an das HHI der DAW in Berlin Adlershof entsandt und beauftragt, dort einen neuen Bereich für die Konzipierung, Entwicklung und Nutzung der Daten von Satelliten-Instrumenten aufzubauen. Dabei musste er Mitarbeiter aus verschiedenen Struktureinheiten der Deutschen Akademie der Wissenschaften (DAW) in kurzer Zeit zusammenführen und für die Mitarbeit an Aufgabenstellungen zur Kosmischen Physik, Kosmischen Meteorologie und/oder Kosmischen Nachrichtentechnik motivieren. Unterstützt wurde er dabei von Hans-Joachim Fischer als Leiter der Abteilung Elektronik und von Dr. Volker Kempe, der als Systemtheoretiker sein wichtigster wissenschaftlicher Diskussionspartner war. Prof. Schmelovsky verfügte über eine sehr schnelle Auffassungsgabe, löste komplex wissenschaftlich-technische Aufgabestellungen mit den Methoden der modernen Signal- und Systemtheorie und der Zustandsschätzung und arbeitete dabei sehr konzentriert. Bemerkenswert war sein Talent, immer „über den Tellerrand“ hinaus zu sehen, was die meisten seiner Kollegen im Institut und in den Partnereinrichtungen im In- und Ausland sehr schätzten.

Prof. Schmelovsky war der „Spiritus rector“ zur Entwicklung der **Mobilen Wetterbildempfangsanlage**, die 1970–72 am ZISTP/HHI und in den „Akademiewerkstätten“ (später Zentrum für wissenschaftlichen Gerätebau – ZWG) der AdW entwickelt, von Dr. W. Schneider⁶ auf hoher See getestet und dann in Kleinserie im ZWG in Berlin Adlershof produziert wurde und auf zahlreichen Schiffen der DDR zum Einsatz kam. Die Mobile Wetterbildempfangsanlage empfing im UKW-Bereich die Signale der sogenannten „Automatic Picture Transmission (APT)“ von meist polar umlaufenden Wettersatelliten, und zwar ohne dass die Antenne dem Satelliten nachgeführt werden musste. (Wie es aber nötig wäre für eine Antenne der in Abb. 4 gezeigten Bauart und was für kleine Hochseeschiffe ohne stabilisierte Geräteplattformen schwierig zu bewerkstelligen war). Die Antenne der Mobilen Wetterbildempfangsanlage bestand aus einem Kreuz-Dipol mit Reflektorgitter und den beiden Antennenvorverstärkern – siehe Abb. 6. Eine Antenne dieser Bauart konnte problemlos auch auf kleineren Schiffen montiert werden.

Die Verwendung einer so einfachen und nicht nachgeführten Antenne war möglich, weil im UKW-Empfänger der Anlage ein von Prof. Schmelovsky und Jürgen Rienäcker entwickelter zweikanaliger sogenannter Phase Lock Loop (PLL) Demodulator verwendet wurde. Dieser 2-Kanal-PLL-Demodulator verglich ständig das Signal-Rausch-Verhältnis (SRV) der Signaltrakte dieser beiden Dipolantennen, und er schaltete automatisch auf den Signaltrakt mit dem besseren SRV. Damit wurde immer das optimale Signal an das Bildaufzeichnungsgerät (BAG) geliefert, das am Ausgang des Empfängers der Mobilen Wetterbildempfangsanlage angeschlossen war.

⁶ Dr. W. Schneider entwickelte im ZWG das Bildaufzeichnungsgerät (BAG) für die Mobile Wetterbildempfangsanlage. Danach war er federführend an den ZWG-Entwicklungen von Magnetspin-Resonanz-Tomographie (MRT) Geräten beteiligt.



Abb. 6. Antenne der Mobilen Wetterbildempfangsanlage mit Kreuz-Dipol, Reflektorgitter und Antennenvorverstärkern (für jeden Dipol ein Vorverstärker). (Quelle: Private Fotosammlung von D. Oertel)

Im Rahmen des „*Bi-lateralen Erweiterungsprogramm(s) Interkosmos*“ wurde 1970 zwischen dem Hydrometeorologischen Dienst der UdSSR, der Akademie der Wissenschaften der DDR und dem Meteorologischen Dienst der DDR vereinbart, ein *Spektrometer-Interferometer (SI-1)* für meteorologische Missionen auf sowjetischen „*Meteor*“-Satelliten zu entwickeln und gemeinsam zu nutzen.

Dieses Spektrometer-Interferometer, d.h. ein satellitentaugliches InfraRot-Fourier-Spektrometer (IR-FS), sollte an der AdW der DDR in Berlin Adlershof entwickelt werden. Bei diesem sogenannten **PM-1-Projekt**⁷ ging es um die Entwicklung und Nutzung von mindestens zwei Spektrometer-Interferometer (SI-1) Instrumenten zur Infrarot-Sondierung der Erdatmosphäre im Wellenlängenbereich von 6–25 μm , die auf mindestens zwei Wettersatelliten vom Typ „*Meteor*“ eingesetzt werden sollten.

Prof. Schmelovsky und *Dr. Kempe* übernahmen ab 1971 im PM-1 Projekt zunächst gemeinsam die Verantwortung für die SI-1 Entwicklung und den Aufbau der dafür erforderlichen Kooperation mit vier Akademieeinrichtungen und dem Meteorologischen Dienst in der DDR sowie dem Hydrometeorologischen Dienst der UdSSR.

Gängige Praxis bei den frühen „*Interkosmos*“-Missionen (IK 1 – IK 14) war, dass die Messdaten in der Regel von sowjetischen Bodenstationen empfangen, dort auf Film oder Magnetband (analog) aufgezeichnet und dann – mit z. T. erheblicher Verzögerung – den internationalen Missionspartnern verfügbar gemacht wurden. Beim Empfänger mussten dann die Daten manuell ausgelesen und ggf. nachträglich digitalisiert werden, was unbefriedigend und zeitaufwändig war.

⁷ PM war die Abkürzung für „*Profil-Messgerät*“ und die Nummer „1“ resultierte aus dem Sachverhalt, dass in der 2. Hälfte der 70er Jahre über weitere Missionen mit IR Fourier-Spektrometern mit sowjetischen Partnern verhandelt wurde, die dann kurz mit PM-2 und PM-V betitelt wurden.

Deshalb drängte Prof. Schmelovsky mit Partnern aus der CSSR, Ungarn und Polen im Rahmen der Interkosmos-Arbeitsgruppe Kosmische Physik (IK-AG-KPh) seit 1970 darauf, für die Interkosmos-Satelliten ein modernes digitales **Einheitliches Telemetriesystem (ETMS)** zu entwickeln, was es allen beteiligten Partnerländern, die über eine Satellitenbodenstation verfügten, ermöglichen sollte, die vom Satelliten gesendeten Messdaten der Experimente in ihrem Land direkt zu empfangen und mit digitalen Rechnern zu prozessieren und auszuwerten.

Das bedeute einen enormen Fortschritt bei der Bereitstellung und Nutzung der wissenschaftlichen Daten.

Die Entwicklung des ETMS gestaltete sich sowohl technisch als auch organisatorisch zu einer sehr komplexen Angelegenheit. Es ging um eine technische Kooperation mit „Interkosmos“-Partnern in der CSSR, in Polen, in Ungarn und in der UdSSR selbst sowie später mit weiteren „Interkosmos“-Partnern in Rumänien und auf Kuba.

Abb. 7 zeigt ein Organigramm der am ETMS anfänglich beteiligten „Interkosmos“-Arbeitsgruppen, Länder und der dort zuständigen Einrichtungen bzw. Institute (Hein-Weingarten 2000).

Im IE arbeitete der Bereich 4 in Berlin Adlershof an der Entwicklung des zentralen Teils des ETMS-Bordsegmentes, dem sogenannten „Wortformungsblock“ und an der systemtechnischen Einbindung von zwei digitalen Magnetbandgeräten vom Typ R 1 aus dem Berliner Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI).

Der Bereich 3 des IE in Neustrelitz arbeitete am ETMS-Bodensegment, bestehend aus den Antennen, den Empfangsanlagen und einem Prozessrechner vom Typ PRS 4000.

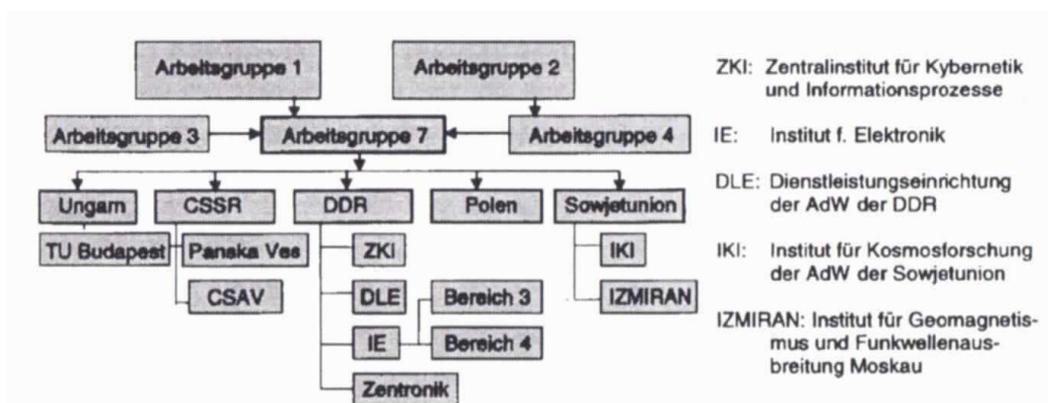


Abb. 7. Organigramm der am ETMS anfänglich beteiligten „Interkosmos“-Arbeitsgruppen, Länder und der dort zuständigen Einrichtungen bzw. Institute. (Quelle: Hein-Weingarten 2000)

Die R-1-Magnetbandgeräte, siehe ein solches Gerät in Abb. 8, ermöglichten im ETMS-Bordsegment die Aufzeichnung von Messdaten außerhalb der Funksichtbereiche der Bodenstationen und ein schnelles Auslesen der gespeicherten digitalen Messdaten über den ETMS-Bodenstationen. Das war, neben der Möglichkeit der Direktübertragung der Messdaten über den Bodenstationen, eine wichtige Zusatzfunktion im ETMS, die weltweite Messungen und die digitale Speicherung der Messdaten an Bord des Satelliten erlaubte.

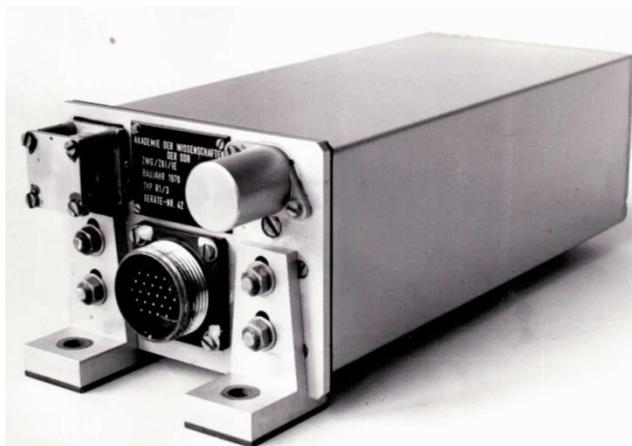


Abb.8. Digitaler Magnetbandspeicher R1. (Quelle: Private Fotosammlung von D. Oertel)

Für Prof. Schmelovsky wurden seine wissenschaftlich-technischen und organisatorischen Arbeiten am ETMS neben seinen anderen Aufgaben als Bereichsleiter immer mehr zu einem „Full-time-Job“, was auf den Seiten 195–226 in Hein-Weingarten (2000) ausführlich dokumentiert ist. Deshalb wurde mit der Gründung des IE 1973 Dr. Volker Kempe, dem Leiter des Bereich 6 „Theorie und Regelungsprobleme“, die volle Verantwortung für das PM-1-Projekt übertragen, einschließlich aller dazu erforderlichen Kooperationen in der DDR und in der Sowjetunion, und Prof. Schmelovsky wurde von dieser Aufgabe entlastet.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang zu vermerken, dass einige originelle technische Lösungsansätze im Si-1-Instrument bis 1973 gemeinsam mit Prof. Schmelovsky gefunden wurden.⁸

Das erste technologische Muster (TM), d. h. das Engineering Model (EM), des ETMS-Bordsegments wurde 1974 an das Institut Kosmitscheskich Issledowanij (IKI) in Moskau zum Test übergeben. Ihm folgten zwei Flugmuster (FM) im selben Jahr, wovon ein ETMS-FM auf der Automatisierten Universalen Orbitalen Station (AUOS) in der Mission „Interkosmos-15“ erfolgreich im Orbit mit simulierten Sensordaten getestet wurde.

Bis 1979 wurde das ETMS auf den Interkosmos-Satelliten „AUOS-MAGIK“, „AUOS-Ionosond“ und „AUOS-Sonne“, also drei Mal, erfolgreich eingesetzt.

Das Datensammelsystem SSPI⁹, wurde am Bereich 4 aus der ETMS Entwicklung abgeleitet, und es wurde auf den „Interkosmos“ Satelliten IK-20 „OKEAN-1“ und IK-21 „OKEAN-2“ in den Jahren 1979/80 und 1981 eingesetzt.

Die Rolle von Prof. Schmelovsky nach 1981, also im IKF, war zweigeteilt:

- Zum einen entwickelte er mit seinem Team für das Kombinat Carl Zeiss Jena das *Autonome Sternen-Navigationsystem für Satelliten „ASTRO“*, das später auf unterschiedlichen sowjetischen bzw. russischen Raumflugkörpern erfolgreich eingesetzt wurde. (Das ist auf den Seiten 130–147 in Hein-Weingarten (2000) ausführlich dokumentiert.)
- Zum anderen trieb er in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre, und zwar gegen den Willen des Institutsdirektors Prof. Dr. R. Knuth, den Austritt seines Bereiches aus dem IKF voran, um in das neu zu bildende *Institut für Automatisierung (IfA)* der AdW zu wechseln, (siehe u.a. S. 80 in Hein-Weingarten 2000).

⁸ Die im SI-1-Instrument – und später in IR-FS-Geräten der ersten DDR-Tiefraummission auf „Venera 15 & 16“ – verwendete technische Lösung für den Linearantrieb des bewegten Interferometerspiegels ist ein Beispiel dafür. (Was übrigens auch die Personen Lügen straft, die behaupteten, SI-1 sei ein Nachbau der US-amerikanischen IRIS-Geräte.)

⁹ SSPI – Sistema Sborna i Peredatschi Informazij – aus dem Russischen.

Nach dem Beitritt der DDR zur BRD wurden sehr viele Institute der AdW der DDR „abgewickelt“, auch das Institut für Automatisierung.

Aber: Die vereinbarungsgemäße Fortsetzung der kosmos-bezogenen Arbeiten am Projekt ASTRO im IfA bis zu dessen Abwicklung wurden 1992 für Prof. Schmelovsky und zehn seiner Mitarbeiter zur „Eintrittskarte“ in das DLR am Standort Berlin Adlershof.

Prof. Schmelovsky war als Signal- und Systemtheoretiker – siehe z. B. Schmelovsky (1983) – auch Mentor für viele junge Wissenschaftler im IE, im IKF und nach 1992 auch im DLR Institut für Weltraumsensorik, wie z.B. für Thomas Terzibaschian, der die Lageregelungsalgorithmen für die „Adlershofer“ Infrarot-Kleinsatelliten BIRD, TET-1 und BIROS im sogenannten „Zustandsraum“ entwickelte, siehe u. a. Terzibaschian et al. (2009), Oertel, Halle, Terzibaschian (2022) oder Halle, Oertel (2023).

Dr. Gerhard Zimmermann / Bereich 5 – Extraterrestrische Experimente

Mit Beginn der „Interkosmos“-Kooperation wurde am ZISTP/HHI eine Abteilung geschaffen, die eine experimentelle Beteiligung am „Interkosmos“-Programm vorbereiten und realisieren sollte und von Dr. Gerhard Zimmermann geleitet wurde.

Daraus entstand am Institut für Elektronik der Bereich 5 „Extraterrestrische Experimente“, der Experimente auf „Interkosmos“-Satelliten und „Vertikal“-Raketen zur Kosmischen Physik und auf meteorologischen Raketen zur Kosmischen Meteorologie durchführte, die auch von Schiffsexpeditionen und anderen Bodenmess-Programmen begleitet wurden.

Ziel dieser Arbeiten war die Erforschung der Hochatmosphäre der Erde und der Ionosphäre im Höhenbereich von 80-400 km anhand von Messungen der Neutralgas- und Plasmameter.

Dazu wurden *Ultraviolet(UV)-Spektralfotometer* in sogenannten Okkultationsmessungen¹⁰ zur Bestimmung von NO-, O₂-, O₃- und H₂O-Neutralgasprofilen sowie Plasmasensoren, wie *Longmuirsonden*, *Hochfrequenz-Kapazitätssonden*, *Ionenfallen* und *Gerdien-Kondensatoren*, zur Messung der Konzentration und Temperatur der Elektronen und Ionen des Plasmas konzipiert, gebaut und auf Satelliten und Höhenraketen eingesetzt (Zimmermann/Oertel 1990):

- im Zeitraum von 1969–1978 auf sieben „Interkosmos“-Satelliten (IK 1, 4, 7, 10, 11, 12, und 18),
- im Zeitraum von 1970–1976 auf vier „Vertikal“-Raketen, die bis in 400 km Höhe flogen,
- im Zeitraum von 1971–1976 auf sechs meteorologischen Raketen vom Typ MR-12, die bis in 160 km Höhe flogen und
- im Zeitraum von 1973–1979 auf 32 meteorologischen Raketen vom Typ M-100, die bis in 110 km Höhe flogen.

Die Arbeiten des Bereiches 5 zur Kosmischen Meteorologie wurden 1980 beendet. Die Arbeiten zur Kosmischen Physik – und die daran beteiligten Mitarbeiter mit ihrem Abteilungsleiter Dr. Jürgen Rustenbach – wurden 1985, also im IKF, an den dort neu

¹⁰ Bei Okkultationsmessungen werden die Signale eines Senders bzw. die Strahlung der Sonne von einem Empfänger bzw. einem optischen Sensor registriert, wenn die Strahlung des Senders bzw. der Sonne am Horizont (engl. Limb) durch immer dichtere Schichten der Atmosphäre der Erde (oder eines anderen Planeten) dringen muss und dabei an Intensität verliert, was über die Zusammensetzung und den physikalischen Zustand der Atmosphäre.

gegründeten Bereich „Extraterrestrische Physik“ überführt, der von Prof. Dr. D. Möhlmann geleitet wurde.

Unter Federführung von Dr. Gerhard Zimmermann wurden im Bereich 5 – parallel zu den o.g. Arbeiten – mit der Gründung der „Interkosmos“-Arbeitsgruppe *Fernerkundung* im Jahr 1975 eine neue Thematik zur optischen Sondierung der Atmosphäre und der Erdoberfläche begonnen, die sich im IE, IKF und danach im DLR-Institut für Planetare Erkundung und Weltraumsensorik (DLR-PE-WS) als geschlossene theoretisch-methodisch-experimentelle Forschungskette sehr erfolgreich entwickelte. Dabei handelte es sich um die *Untersuchung des Systems Atmosphäre/Ozean im reflektiven Spektralbereich des elektromagnetischen Spektrums zwischen 0,4 und 1,1 μm* .

Dafür wurden im Bereich 5 des IE und unter Leitung von Dr. Gerhard Zimmermann folgende Instrumente entwickelt:

- das **Mehr-Kanal-Spektrometer (MKS)**, eingesetzt ab 1979 auf den „Interkosmos“-Satelliten IK-20 „OKEAN-1“ und IK-21 „OKEAN -2“ (jeweils zusammen mit einem *Datensammelsystem SSPI* aus Berlin Adlershof) und
- die Nachfolge-Geräte **MKS-M** bzw. **MKS-M2**, eingesetzt ab 1983 jeweils auf den sowjetischen Raumstationen „Saljut-7“ bzw. „MIR“.

Die MSK-Instrumente bestanden aus dem Modul MSK-BS mit 7 Spektralkanälen im visuellen und nahen Infrarot Bereich (VIS/NIR, von 415–675 nm) und einer spektralen Auflösung von ~ 10 nm und dem Modul MSK-AS mit 6 Spektralkanälen im nahen InfraRot Bereich (NIR, von 758–823 nm) und einer spektralen Auflösung von $\sim 1,5$ nm.

Abb. 9 zeigt in tabellarischer Form eine Übersicht über die technischen Daten der Fernerkundungsspektrometer MKS, MKS-M und MKS-M2, Zimmermann, Oertel (1990).

	MKS		MKS-M		MKS-M2	
	AS	BS	AS	BS	AS	BS
Spektralkanäle/nm	758,3;760,5; 762,9;766,4; 793,8; 823,2	415;450;485; 535;570;620; 675	758,3;760,5; 763,0; 766,4; 793,0;823,0	415;450;485; 520;570;620; 680;713;750; 790;823;880	758,0;760,5; 763,0;766,5; 793,0;823,0	415;450;485; 520;570;620; 680;714;750 790;823;880; 1025
Bandbreite/nm	1,5	10	1,5	10	1,5	10
Bodenauflösung/km ²	0,8 x 10	7 x 10	0,5 x 6,3	2,4 x 2,4	0,5 x 6,3	2,4 x 2,4
Objektfeldwinkel/°	0,09 x 1,2	0,8 x 1,2	0,10 x 1,2	0,46 x 0,46	0,10 x 1,2	0,46 x 0,46
Schwadbreite/km	Spurgerät		Spurgerät		Spurgerät	
Flughöhe/km	500		300		300	
Dynamikumfang	512:1		512:1		512:1	
Datenrate/kbit/s	0,82	0,96	1,73	3,46	1,73	3,74
Spektrometertyp	Rowlandkreis		Rowlandkreis		Rowlandkreis	
Objektiv	Cassegrain 5,6/320	Sonnar 5,6/300	Practica 4/300 Sonnar 5,6/300		Practica 4/300	Sonnar 5,6/300
Gitter-Konst./L/mm	1483	1483	1483	1483	1483	1483
Gitter-Radius/mm	250	250	250	250	250	250
Eintrittsspalt/mm ²	0,5 x 6,3	4,2 x 6,0	0,5 x 6,3	2,4 x 2,4	0,5 x 6,3	2,4 x 2,4
Detektor	Photodiode		Photodiode		Photodiode	
Typ	Sonderanfertigung	SP 103	Sonderanfertigung	SP 103	Sonderanfertigung	SP 103
Anzahl	6	7	6	12	6	13
Pixel	1	1	1	1	1	1
Auslesefrequenz/Hz	15,2	15,2	32	32	32	32

Abb. 9: Übersicht über die technischen Daten der Fernerkundungsspektrometer MKS, MKS-M und MKS-M2. (Quelle: Zimmermann/Oertel 1990)

Abb. 10 a zeigt auf einem Kartenausschnitt den Golf von Mexiko und die strich-punktiert eingezeichnete Trasse der Bewegung der Blicklinie (engl. Line of Sight /LoS/) des MKS-

Instrumentes unter dem „Interkosmos“ Satelliten IK-21 über den Golf am 28. Mai 1981 zu vormittäglicher Ortszeit.

Die Trasse beginnt im Süden westlich der mexikanischen Halbinsel Yukatan bei der geografischen Länge von 91,5 Grad West und endet im Norden über der Mündung des Alabama Rivers im US-Bundesstaat Alabama bei 87,7 Grad westlicher Länge. Die Trasse streift auch den sedimentreichen Mündungsbereich des Mississippi in den Golf von Mexiko.



Abb. 10 a.: Kartenausschnitt des Golfs von Mexiko mit der strich-punktiert eingezeichnete Trasse der Süd-Nord-Bewegung der Blickrichtung des MKS-Instrumentes vom „Interkosmos“-Satelliten IK-21 über den Golf. (Quelle: Zimmermann/Oertel 1990)

Abb. 10 b zeigt grafisch die Aufzeichnung der mit dem MKS auf IK 21 „OKEAN-2“ über dem Golf von Mexiko am 28. Mai 1981 gemessenen spektralen Strahldichtewerte L_s (engl. Radiances). Auf der Ordinate der Grafik in Abb. 10 b sind die spektralen Strahldichtewerte L_s der gezeigten neun Spektralbänder in $\mu W / cm^2 nm^1 sr^1$ angegeben.

Auf der Abszisse der Grafik in Abb. 10 b ist die Zeitskala T irrtümlicherweise in Sekunden (s) statt in Stunden (h) angegeben.

Die zu vormittäglicher Ortszeit durchgeführte Aufnahme begann zu 18:58 h und 12 s Greenwich Mean Time (GMT) und endete zu 19:01 h und 48 s GMT, d.h. sie dauerte 216 s.

Bei einer Auslesefrequenz von 15,2 Hz (siehe Abb. 9, 2.Spalte unten) wurden vom MKS während dieser Zeitspanne 32.832 multispektrale Abtastungen registriert, die im *Datensammelsystem SSPI* digital aufgezeichnet wurden, welches im Bereich 4 des IE entwickelt wurde.

In der Grafik sind einige Beschriftungen angebracht, die u.a. angeben, welche „Objekte“ überflogen wurden, wo (partielle) Wolkenbedeckung vorliegt und wo An-Bord Kalibrations-Messungen (in der Grafik „interne Eichung“ genannt) im MKS durchgeführt wurden, und dadurch bei 18:59 h GMT kleine Lücken in allen spektralen Strahldichtekurven zu erkennen sind.

Die spektralen Strahldichtewerte der 7 Spektralbänder des MSK-BS (von 415 nm bis 676 nm) liegen für das offene Wasser des Golfs von Mexiko über den Strahldichtewerten der beiden in der Grafik gezeigten spektralen Bänder des MSK-AS (bei 758 nm und 760 nm). Bei 760 nm liegt die schmale Sauerstoff-Absorptionsbande.

Das Gesichtsfeld des MKS-BS auf dem Satelliten IK-21, der in 500 km Höhe über Grund flog, hat auf der Erdoberfläche Messflecke (engl. Footprints) von 7 km x 10 km gebildet, und das Gesichtsfeld des MKS-AS auf IK-21 hat am Boden einen Messfleck von 0,8 km x 10 km gebildet.

Deshalb sind die „Ausreißer“ der spektralen Strahldichtewerte an den Stellen, wo „Wolken“ in der Grafik (Abb. 10 b) vermerkt sind, unterschiedlich stark, was von dem jeweiligen Anteil der Wolken in diesen „gemischten Messflecken“ abhängt.

Die „schwarze Säule“ etwa in der Mitte der Grafik in Abb. 10 deutet darauf hin, dass dort nahezu vollständige Wolkenbedeckung bei mehreren aufeinander folgenden Messungen vorlag.

Deutlich zu erkennen ist in Abb. 10 b rechts der Anstieg der spektralen Strahldichtewerte in den Bändern von 449 nm (blau) bis 676 nm (nahes Infrarot) des MKS-BS (i) an der Sedimentfahne des Mississippi, (ii) im Mündungsbereich des Alabama River und (iii) in den Bändern von 534 nm (grün) bis 676 nm (nahes Infrarot) des MKS-BS über dem Festland.

Dieses Potenzial des MKF auf IK-21 „OKEAN-2“ für spektrale Klassifizierung von Wasser- und Küstenoberflächen wurde für unterschiedliche Anwendungsfelder genutzt, so z.B. auch für eine saisonale, also von der Jahreszeit bestimmte, Klassifizierung der Weltmeere.

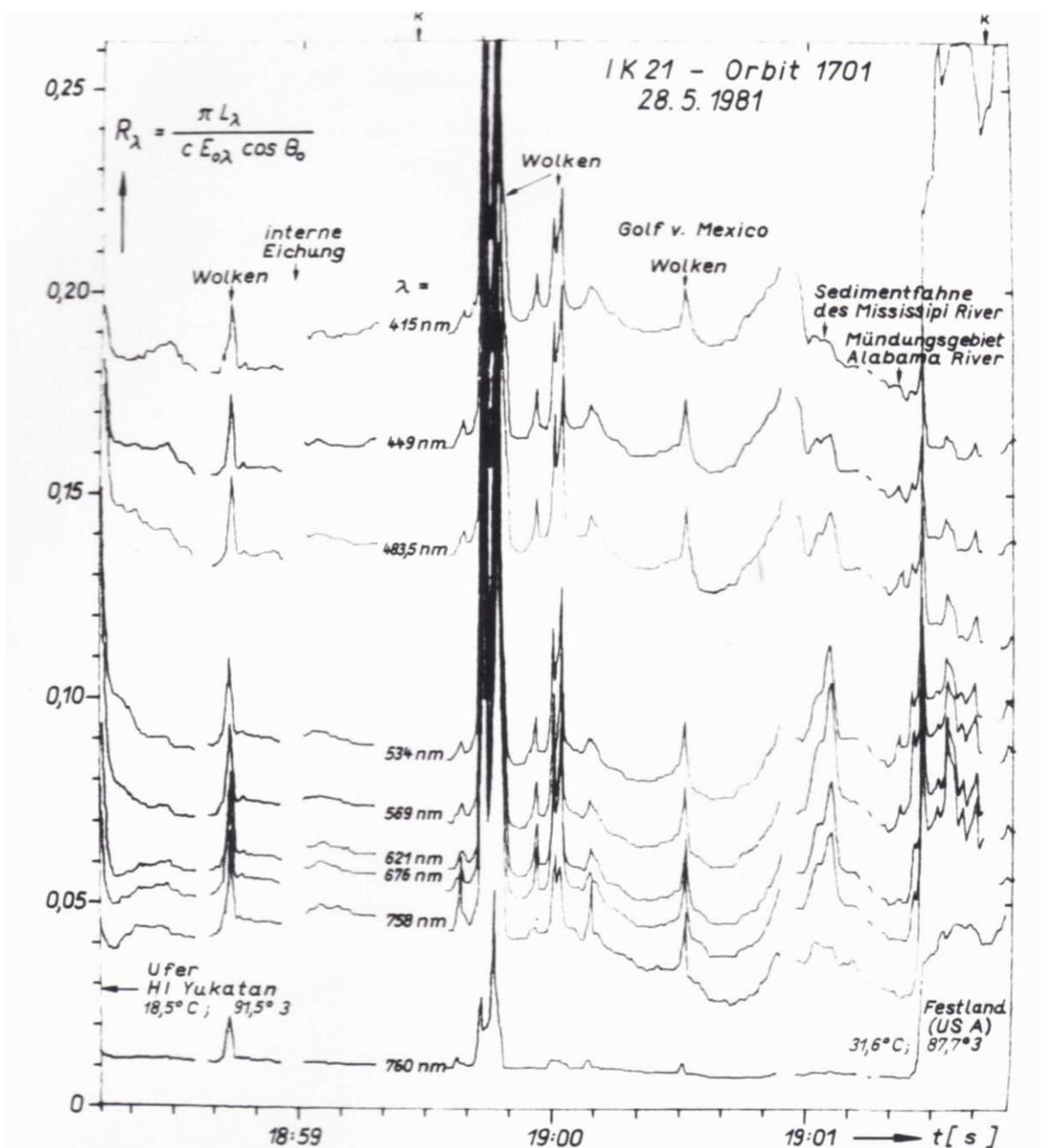


Abb. 10 b. Beispiel der mit dem MKS auf IK-21 „OKEAN-2“ über dem Golf von Mexiko am 28. Mai 1981 gemessenen spektralen Strahllichtewerte (engl. *Radiances*). (Quelle: Zimmermann/Oertel 1990)

Abb. 11 zeigt ein Beispiel einer saisonalen Karte der Wasserklassen der Weltmeere für den Herbst 1981, die aus den MKS Daten der „OKEAN-2“-Mission vom Institut für Hydrometeorologie in Sewastopol (Krim) abgeleitet wurden. (Diese Grafik wurde als Kopie dem Bereich 5 des IKF im Jahr 1990 verfügbar gemacht und so in Zimmermann/Oertel (1990) verwendet.)

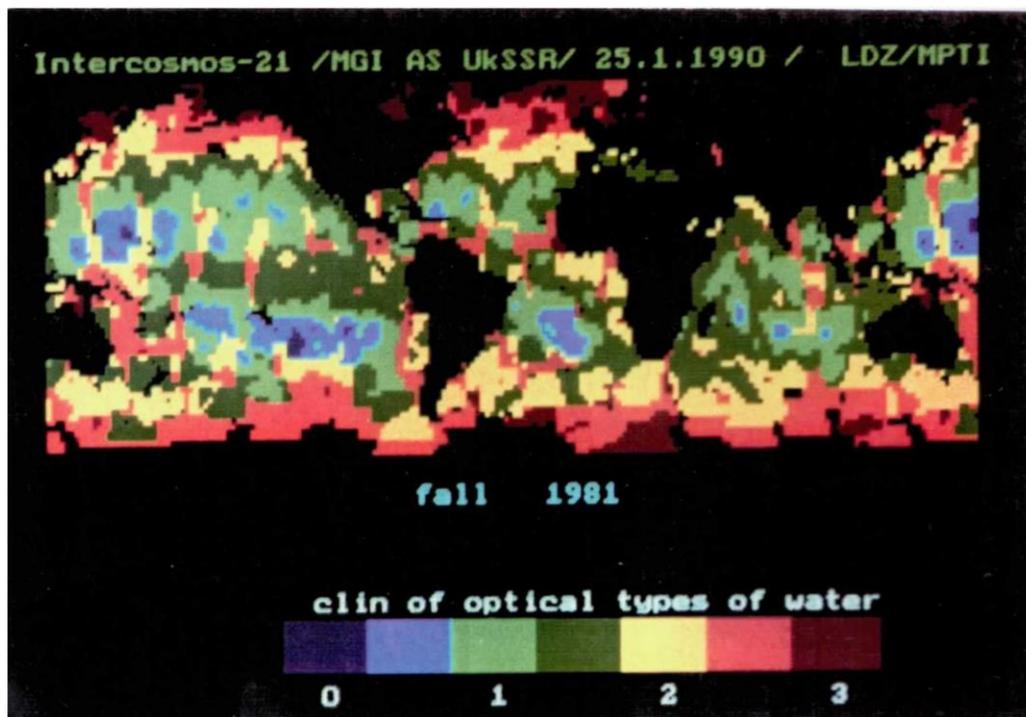


Abb. 11. Beispiel einer saisonalen Karte der Wasserklassen („optical types of water“) der Weltmeere für den Herbst 1981, die vom Institut für Hydrometeorologie in Sewastopol (Krim) aus den MKS Daten der „OKEAN-2“ Mission abgeleitet wurden. (Quelle: Zimmermann/Oertel 1990)

Abb. 12 zeigt das Gerät MKS-M, welches für den Einsatz auf der Raumstation „Saljut-7“ im Institut für Elektronik im Bereich 5 unter fachlicher Leitung von Dr. G. Zimmermann entwickelt wurde.

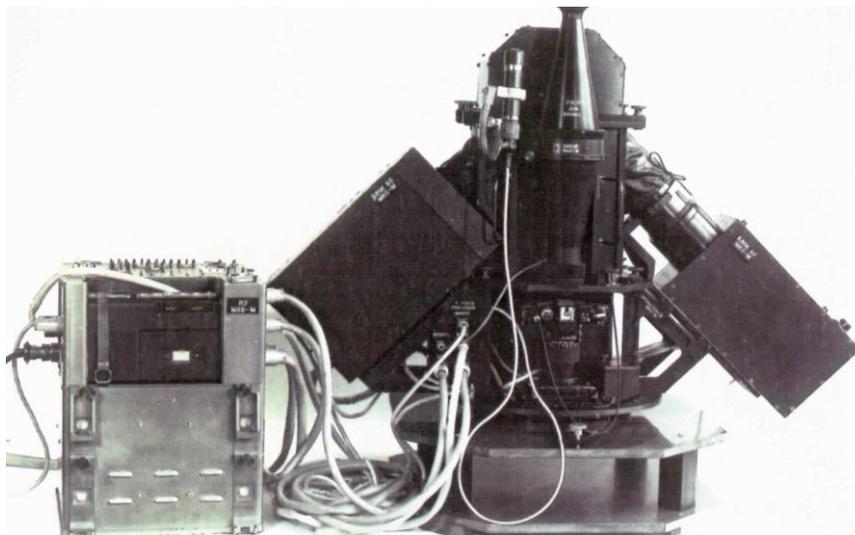


Abb. 12. Das Gerät MKS-M (hier dargestellt ohne Bedienpult)
(Quelle: Zimmermann/Oertel 1990)

Abb. 13 zeigt das Aufnahmeschema für den *gleichzeitigen Einsatz* eines *Mehr-Kanal-Spektrometers vom Typ MKS-M* zusammen mit der *Multispektralkamera MKF-6 M* Zimmermann, Oertel (1990).

Im Zentrum von Abb. 13 sind die Abmessungen der Gesichtsfelder auf der Erdoberfläche für das jeweils beteiligte Instrument dargestellt: (a) 0,5 km x 6,3 km für MKS-M-AS, (b) 2,4 km x 2,4 km für MKS-M-BS, (c) 125 km x 190 km für die Multispektralkamera MKF-6M und (d) 53 km x 80 km für die Kleinbildkamera vom Typ „B 200“, die als bildgebendes Subsystem im MKS-M zum Einsatz kam.

In den oberen linken und rechten Ecken der Abb. 14 ist symbolisch illustriert, wie über ein schwenkbare Eingangsprisma entweder a) die von der Erde aufsteigende Strahlung L_s zu den Modulen AS und BS des MKS-M gelenkt wird (links oben), oder b) wie über eine Streuscheibe die Module AS und BS mit gestreutem Sonnenlicht an Bord radiometrisch kalibriert werden (rechts oben).

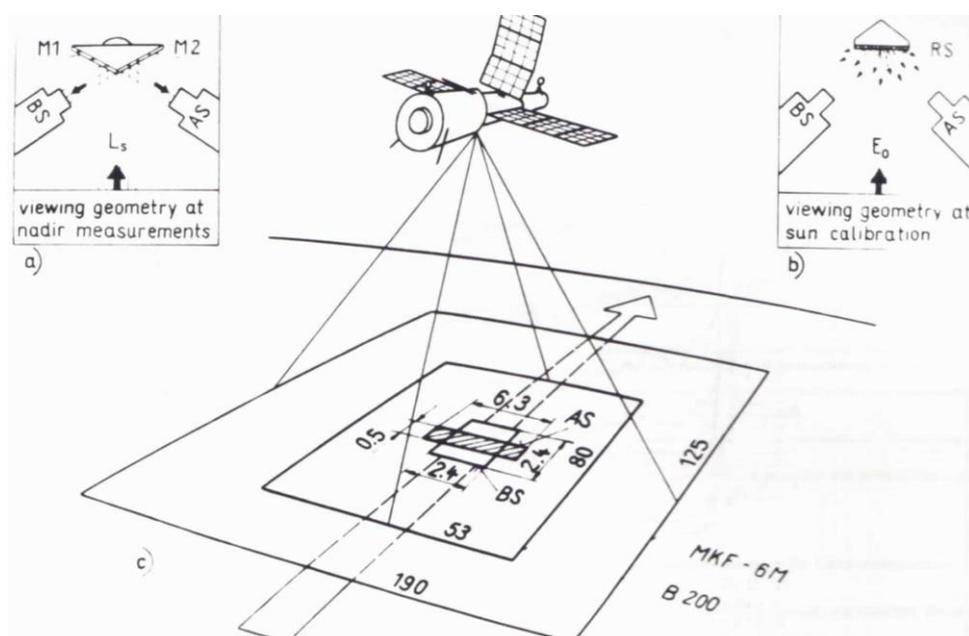


Abb. 13. Aufnahmeschema für den gleichzeitigen Einsatz eines Mehr-Kanal-Spektrometers vom Typ MKS-M und der Multispektralkamera MKF-6 M. (Quelle: Zimmermann/Oertel 1990)

Arbeiten zur Fernerkundung der Erde am Bereich 5 des IE liefen 1976 zwar thematisch parallel, aber leider experimentell „asynchron“ zum **Projekt „RADUGA“** (deutsch: Regenbogen).

Bei „RADUGA“ flog die im Kombinat Carl Zeiss Jena entwickelte Multispektralkamera MKF-6 erstmals im Kosmos, und zwar auf „Sojus-22“, wo sie von den Kosmonauten Waleri Bykowski und Wladimir Axjonov bedient wurde. Die o.g. „experimentelle Asynchronität“ hatte folgende Ursachen:

- die ersten *streng vertraulichen Gespräche* sowjetischer Experten mit Geheimnisträgern der DDR zur Entwicklung einer räumlich hochauflösenden multi-spektralen Filmkamera auf bemannten sowjetischen Raumschiffen fanden schon 1971 statt,
- es gab 1973 eine *streng vertrauliche sowjetische Startzusage* für den Ersteinsatz einer räumlich hochauflösenden multi-spektralen Filmkamera auf einem „Objekt zu Erforschung der Erde und ihrer Umwelt“ im Jahr 1976, aber

- erst 1975 begannen die Entwicklungsarbeiten zum MKS im IE, (also im Jahr der Gründung der „Interkosmos“-Arbeitsgruppe „Fernerkundung“).

Der Werdegang von MKF-6 im Rahmen des Regierungsabkommens Fernerkundung zwischen der UdSSR und der DDR ist in Hein-Weingarten (2000) auf den Seiten 258–282 dokumentiert, und zwar bezugnehmend auf nach 1992 freigegebene Dokumente, die zuvor alle „Vertrauliche Verschluss-Sachen (VVS)“ waren.

Eine interessante und aufschlussreiche Darstellung zum Thema RADUGA enthält Hoffmann (1999) auf den Seiten 82–88, dort mit den Untertiteln „Ouverture im Orbit“ (mit RADUGA), „Sechs Trümpfe“ (der MKF-6), „Blick aus drei Etagen“ und „Moskaus Embargo“.

Abweichend zu Harvey (2022), siehe dort S. 12, nach der Zwischenüberschrift „MKF CAMERA“ – „*The second early big project was contracted by ZIPE¹¹ to the Carl ZEISS Jena combine*“, war nach den Darstellungen von Hein-Weingarten (2000) gegenüber dem Kombinat CZJ für die ersten MKF-6- und MSP-4-Geräte,¹² nicht das ZIPE, sondern das Institut für Elektronik Auftraggeber und Käufer, und das IE verpflichtete sich dabei u.a. auch, spezielle Bauelemente für diese Entwicklung zu beschaffen.

Dieser Sachverhalt wird hier deshalb „eingeblenDET“, weil er die Rolle des IE im Prozess der Entstehung und der ersten Nutzungsphase der MKF-6 charakterisiert: Koordinator, „nationaler“ Auftraggeber,¹³ Beschaffer von sowjetischen Bauelementen, sowie – was allerdings in Hein-Weingarten (2000) nicht vermerkt ist, aber der Autor bezeugen kann – Organisator von sogenannten „Feuerwehr-Aktionen“, d.h. von der Institutsleitung angeordneten ad-hoc Einsätzen von IE-Mitarbeitern, (insbesondere Schaltmechanikern), im Kombinat CZJ, um drohende Zeitverzögerungen bei der Auslieferung des ersten Flugmusters der MKF-6, das unbedingt mit „Sojus-22“¹⁴ starten musste, an die sowjetische Seite zu vermeiden.

Wie oben schon vermerkt, und in Abb. 13 illustriert, fanden *die ersten gleichzeitigen Aufnahmen von MKF-6M und MKS-M* erst 1983 auf der Raumstation *Salut-7* statt.

Am Bereich 5 des IKF begannen ab 1984 unter Federführung von Dr. Gerhard Zimmermann die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für ein abbildendes Spektro-Radiometer: Basierend auf der wissenschaftlichen Auswertung der sehr erfolgreichen MKS-Messungen und unter Nutzung von Charge Coupled Devices (CCD) Zeilendetektoren aus dem VEB Werk für Fernsehelektronik (WF) Berlin wurde am IKF das abbildende Spektro-Radiometer mit der Bezeichnung **M**ultispectral **O**ptoelectronic **S**canner (**MOS**) entwickelt. MOS wurde im IKF für den Einsatz auf sowjetischen Satelliten (z. B. vom Typ „Meteor“) und/oder auf dem *PRIRODA-Modul* der Raumstation „MIR“ ausgelegt (Zimmermann/Oertel 1990). Abb. 14 a zeigt das Optische Schema von MOS.

¹¹ ZIPE – Zentralinstitut für Physik der Erde der AdW der DDR.

¹² MSP – Multi-Spektral-Projektor.

¹³ Die Geräte MKF-6 und MSP-4 für das „RADUGA“-Experiment wurden kostenlos an die Sowjetunion geliefert, weil, wie bei „Interkosmos“ üblich, die Sowjetunion den Start, in diesem Fall mit Sojus-22, und alles, was damit verbunden war, bezahlte. Das Kombinat Carl Zeiss Jena stellte jedoch seine Leistungen zu MKF-6 und MSP-4 für das „RADUGA“-Experiment im Umfang von 17 Mio. Mark der DDR dem IE 1977 in Rechnung – siehe S. 268 in Hein-Weingarten (2000).

¹⁴ Auch für die sowjetischen bemannten Raumschiffe gelten „Verfallsdaten“. Sojus-22, ein Ersatzraumschiff aus dem „Sojus-Apollo-Projekt“, was die MKF-6 beherbergen sollte, musste deshalb noch 1976 starten.

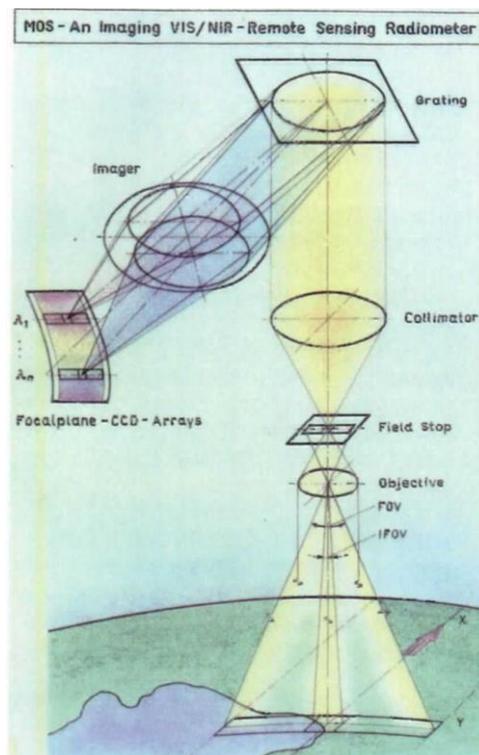


Abb. 14 a. Optisches Schema des Multispectral Optoelectronic Scanner (MOS). (Quelle: Zimmermann/ Oertel 1990)

Auf dem *Indian Remote Sensing Satellite-P3 (IRS-P3)*, der für einen Start um 1995 geplant war, sollte nach einer Kooperationsvereinbarung des DLR mit der Indian Space Research Organisation (ISRO) das in der Raumfahrtindustrie der BRD in Zusammenarbeit mit dem DLR-Institut für Optoelektronik entwickelte Reflective Optical System Imaging Spectrometer (ROSIS) eingesetzt werden. 1990/91 wurde jedoch klar, dass ROSIS für einen Start auf IRS-P3 nicht rechtzeitig fertig würde.

Das im IKF entwickelte und gebaute *MOS-PRIRODA* für den Einsatz auf der sowjetischen Raumstation MIR war 1990 in Berlin Adlershof quasi startbereit. Deshalb wurde 1991 im DLR erwogen, statt ROSIS ein Instrument vom Typ MOS für den Flug auf IRS-P3 der ISRO anzubieten, was von den indischen Kollegen begrüßt wurde.

Die für IRS-P3 erforderlichen MOS-Gerätemuster und die MOS-Prüfgeräte wurden im DLR-Institut für Planetare Erkundung und Weltraumsensorik (DLR-PE-WS) unter Leitung von G. Zimmermann entwickelt und gebaut. MOS startete am 21. März 1996 mit IRS-P3,¹⁵ auf dem es bis Ende 2003, also sieben Jahre, sehr erfolgreich betrieben wurde.

Im Instrument MOS wurden Strahldichtewerte in 18 Spektralbändern registriert, ähnlich wie bei MKS oder MKS-M, aber nicht nur entlang einer einzelnen Messstrasse (siehe Abb. 10 a), sondern in einem bildhaften Messstreifen, dem sogenannten Schwad, von ca. 200 km Breite und mit Bodenpixelgrößen von ca. 0,5 km x 0,5 km.

Die Phytoplankton-Konzentration ist besonders hoch in sogenannten *Up-welling* Zonen der Ozeane mit nährstoffhaltigem kaltem Wasser, das aus tieferen Bereichen nach oben dringt.

Abb. 14 b zeigt sehr anschaulich den Zusammenhang von Phytoplankton-Konzentration – angegeben in Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/Ltr}$), (links) und der

¹⁵ Damit war MOS weltweit das erste abbildende Spektroradiometer im Erdorbit.

Wassertemperatur – angegeben in Grad Kelvin¹⁶ (K) (rechts) in einem Gebiet mit aufsteigendem Kaltwasser im Atlantik an der Westküste Marokkos – beides gut erkennbar im jeweils unteren Teil der beiden Aufnahmestreifen.

Die in Abb. 14 b grafisch dargestellte Phytoplankton-Konzentration wurde abgeleitet aus den Daten einer IRS-P3-MOS-Aufnahme, registriert am 31.10.2002 zu 10:55 GMT.¹⁷ Die ebenfalls in Abb. 14 b grafisch dargestellte Wassertemperatur wurde abgeleitet aus bildhaften Infrarot-Daten, aufgenommen mit dem DLR-Kleinsatelliten BIRD¹⁸ auch am 31.10.2002 zu 12:05 GMT, also 70 Minuten später. Die Farbskalen für die Phytoplankton-Konzentration und die Wasseroberflächentemperaturen sind unter den Aufnahmestreifen in Abb. 14 b dargestellt.

BIRD wurde im Oktober 2001 „huckepack“ (engl. piggy back) zusammen mit einem größeren indischen Satelliten und dem ESA-Kleinsatelliten „Proba-1“ in Indien gestartet.

Der erste deutsche Infrarot-Kleinsatellit BIRD wurde im DLR-Institut für Weltraumsensorik (DLR-WS) von Erfahrungsträgern entwickelt, gebaut und getestet, die schon im Bereich 6 des IE und IKF in den Projekten PM-1 und PM-V an der Entwicklung von Infrarot-Fourier-Spektrometern arbeiteten, die 1976, 1977 und 1979 auf den „Meteor-25, -28 und -29“-Satelliten und 1983 auf den Sonden „Venera-15 & 16“ in Venus-Umlaufbahnen eingesetzt worden waren¹⁹ – und worüber im nachfolgenden Kapitel zu lesen ist.

¹⁶ 289 K entsprechen 16°C und 311 K entsprechen 38°C.

¹⁷ GMT - Greenwich Mean Time.

¹⁸ BIRD steht für Bi-spektral InfraRed Detection.

¹⁹ Wolfgang Bärwald, geb. 1953, z.B. war Systemingenieur für SI-1 auf „Meteor-29“, die FS-1/4-Instrumente auf „Venera 15 & 16“ und für alle drei IR-Kleinsatelliten aus Berlin-Adlershof, d.h. BIRD, TET-1 und BIROS. BIROS funktioniert seit 2016 im Erdorbit.

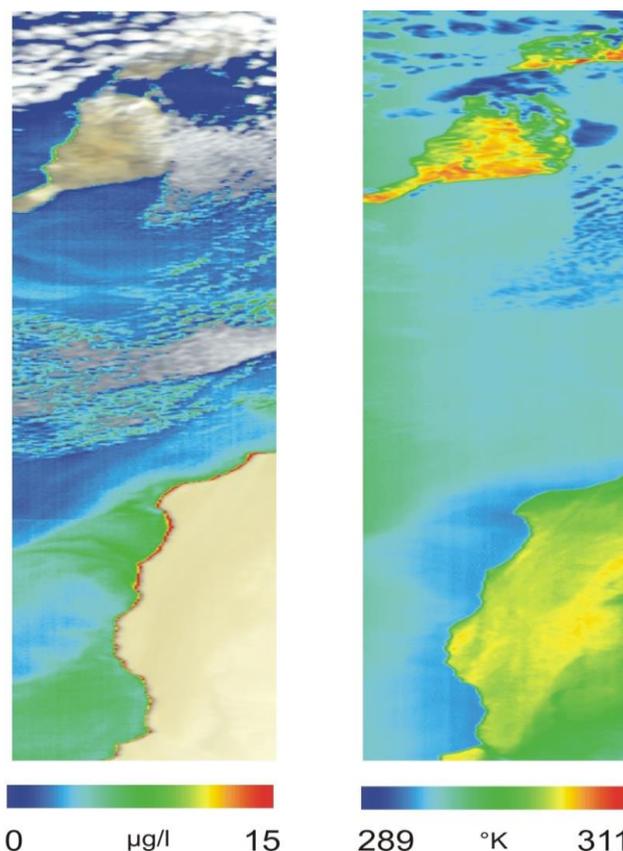


Abb. 14 b. Phytoplankton-Konzentration in Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/Ltr}$), (links) und Wassertemperatur in Grad Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) (rechts) im Atlantik an der Westküste Marokkos - im unteren Teil der beiden Aufnahmestreifen. (Quelle: DLR Institut für Weltraumsensorik, BIRD-Projekt)

Dr. V. Kempe & Dr. D. Oertel / Bereich 6 – Theorie und Regelungsprobleme

Volker Kempe promovierte nach Abschluss seines Studiums der Physik und Kommunikations-Nachrichtentechnik 1963 am Moskauer Energetischem Institut (MEI) 1968 an der Technischen Universität Dresden zum Dr. Ing. Er baute danach zusammen mit Prof. Schmelovsky am ZISTP/HHI eine Arbeitsgruppe zur Signal- und Systemtheorie auf, welche die Theorie stochastischer Systeme bei der Konzipierung von „Interkosmos“-Beiträgen der AdW anwendete. Vor diesem theoretischen Hintergrund wurde z.B. als Beitrag zur Kosmischen Nachrichtentechnik im ZISTP/HHI ein *Breitband Phase Lock Loop Demodulator* für neue „Intersputnik“-Empfangsstationen entwickelt. Diese Entwicklung hatte zum Ziel, durch optimale rauscharme Demodulation den Durchmesser der den „Molnja“-Satelliten²⁰ nachzuführenden Parabolantennen für diese neuen Empfangsstationen von 12 m auf 6 m zu reduzieren.

Mit der Bildung des Institutes für Elektronik übernahm 1973 Dr. Volker Kempe die Leitung des Bereiches 6 „Theorie und Regelungsprobleme“, und er war von da an der deutsche PM-1-Projektleiter für die SI-1-Entwicklung und die SI-1-Missionen auf den

²⁰ Die „Molnja“- (russisch Blitz) Satelliten flogen auf hochelliptischen Bahnen mit dem Apozentrum, also dem von der Erde am weitesten entfernten Scheitelpunkt der Bahn, über der nördlichen Hemisphäre der Erde. Damit wurde eine gute TV-Programm-Versorgung auch der nördlichen Gebiete Russlands gesichert, was aus dem geostationären Orbit nicht möglich ist.

Satelliten „Meteor-25 und -28“, bis er 1978 zum Professor für Nachrichten- und Regelungstechnik der AdW ernannt und zum Direktor des Zentralinstitutes für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) berufen wurde.

Der Werdegang des PM-1-Projektes und seine umfangreiche nationale Kooperation sind – mit Nennung von maßgeblich beteiligten Personen – in Oertel (2021) kurz beschrieben, d.h. kann über „Leibniz-Online“ eingesehen werden. Ausführlich ist der gesamte Entwicklungsprozess von den SI-1-Instrumenten bis zur ersten Tiefraummission der DDR mit den Infrarot Fourier-Spektrometern FS-1/4 auf den Venussonden „Venera-15 & 16“ in Oertel (2022) dargestellt.

Der infrarote Wellenlängenbereich des elektromagnetischen Spektrums erlaubt die Beobachtung der Eigenstrahlung von Planeten und deren Atmosphären. Die infrarote spektrale Signatur dieser Objekte wird von ihrer Temperatur und ihrer stofflichen Zusammensetzung geprägt. So erlaubt die Fernmessung der infraroten Signatur dieser Objekte mit Spektrometern an Bord von Satelliten und anderen Raumflugkörpern Rückschlüsse auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften eben dieser Objekte. Infrarot-Fourier-Spektrometer sind dazu besonders geeignet, weil sie Messungen mit hoher zeitlicher, räumlicher und spektraler Auflösung in einem breiten Wellenlängenbereich ermöglichen. Allerdings müssen die kosmischen Apparate es erlauben, diese empfindlichen optischen Instrumente ohne mechanische, thermale und elektrische Störungen zu betreiben.

Abb. 15 zeigt das Interferometer von SI-1, welches im hermetisierten, zylinderförmigen Teil des Optikblocks von SI-1, siehe Abb. 16, untergebracht ist, welcher außen am jeweiligen „Meteor“-Satelliten montiert wurde.

Im nichthermetischen Teil des Optikblocks (Abb. 16, rechts) befindet sich das Drehspiegelsystem, das die Blickrichtung des Interferometers (i) durch den hier nach oben zeigenden Eingangstubus zur Erde, (ii) durch den zum Betrachter gerichteten Tubus in den „kalten Weltraum“ oder (iii) zu einem geheizten Schwarzkörper lenkte. Der Alu-Radiator des Schwarzkörpers ist in Abb. 16 hinten rechts zu erkennen.

Periodische Blicke in den „kalten Weltraum“ und auf den Schwarzkörper waren zur *radiometrischen An-Bord-Kalibration* notwendig, um aus diesen 3 Messungen die spektralen Strahldichtewerte in ihrer Abhängigkeit von der Wellenzahl²¹ als kontinuierliche Funktion, als sogenanntes *Absolutspektrum* der Erde und ihrer Atmosphäre abzuleiten (siehe u. a. Kempe et al. 1980 oder Oertel 2022).

Der Optikblock des jeweiligen Flugmusters von SI-1 wurde vor dem Start fast vollständig in sogenannte „Superisolation“ (engl.: Multi-Layer Isolation /MLI/) eingenäht, um, in ihrer Funktion mit einer Thermoskanne vergleichbar, interne Temperaturschwankungen des Interferometers und seines Strahlungsempfängers zu vermeiden.

Der SI-1 Elektronikblock und zwei R1-Magnetbandspeicher (siehe Abb. 8) waren im hermetisierten und mit Stickstoff gefüllten Innenraum des „Meteor“-Satelliten untergebracht.

In der DDR wurden die empfangenen digitalisierten SI-1-Interferogramm-Daten von der Satellitenbodenstation des IE in Neustrelitz vorprozessiert und per Magnetband an das Rechenzentrum der AdW der DDR in Berlin-Zeuthen gesendet. Im Rechenzentrum der AdW wurden diese Interferogramm-Daten zu Absolutspektren auf einem Großrechner vom Typ BESM-6 verarbeitet. Diese Absolutspektren wurden dann, ebenfalls per

²¹ Die Wellenzahl angegeben in der Maßeinheit cm^{-1} steht im reziproken Verhältnis zur Wellenlänge, angegeben, z. B. in μm .

Magnetband, an den Meteorologischen Dienst (MD) der DDR in Potsdam zur meteorologischen Auswertung übergeben.

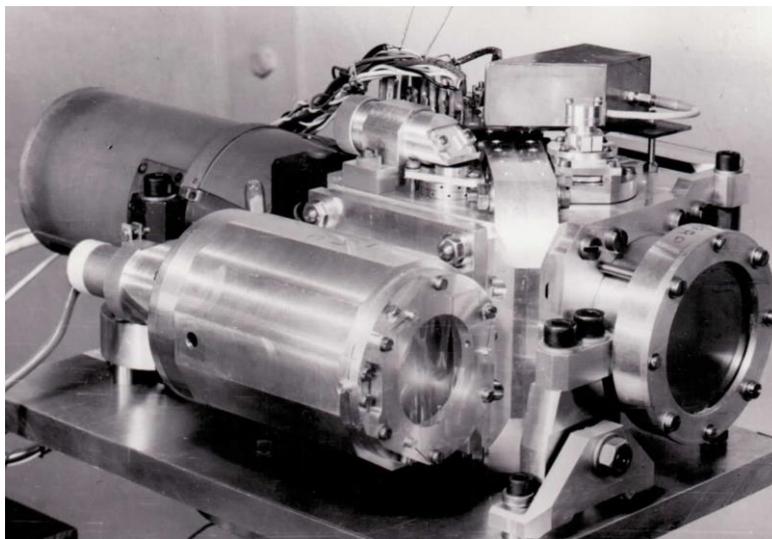


Abb. 15. Interferometer eines der SI-1 Instrumente (auf einer Montageplatte) bestehend u.a. aus: (1) dem Antriebsmechanismus für den bewegte Spiegel des Interferometers (in dunklem Gehäuse oben links), (2) dem IR-Strahlungsempfänger (ein sogenanntes Bolometer) mit weißer Kappe, eingebaut in seine Abbildungsoptik, (vorn im Bild), (3) dem Eintrittsfenster aus KRS-5 Kristall, (vorn rechts) und (4) den Komponenten des „optischen Referenztraktes“ mit Strahlungsquelle, Strahlungsempfängerdiode (beide in zylinderförmigen kleinen Gehäusen oben auf dem Interferometerblock) und mit dem Signal-Vorverstärker der „optischen Referenz“ (im dunkleren Kästchen, oben). (Quelle: Private Fotosammlung von D. Oertel)

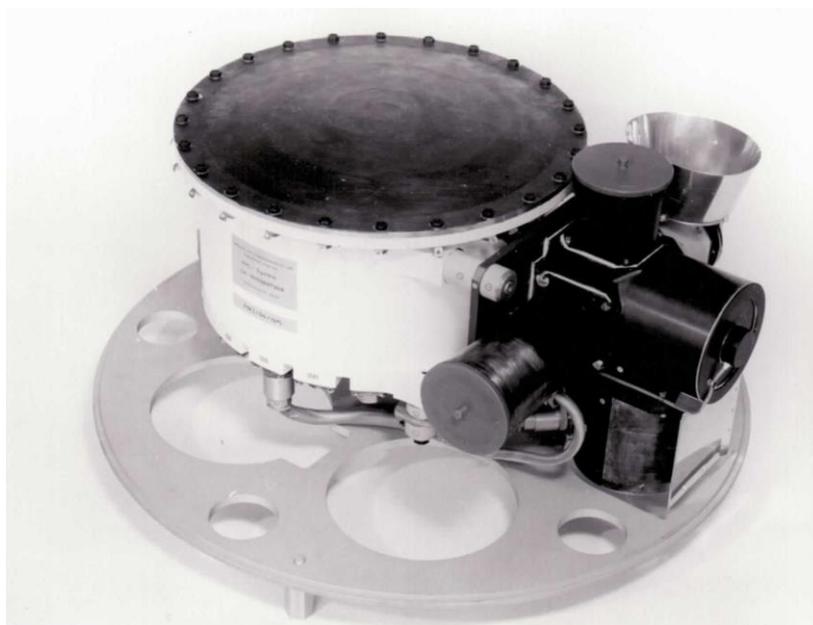


Abb. 16. Der Optikblock von SI-1 auf der Bodenplatte seines Transportcontainers. (Quelle: Private Fotosammlung von D. Oertel)

Anders als bei den Startvorbereitungen der „Interkosmos“-Satelliten, wo Wissenschaftler und Techniker aus den „sozialistischen Bruderländern“ auch an den Tests ihrer Instrumente am Satelliten in der „Technischen Position (TP)“²² teilnahmen, war leider zu den Tests vor dem ersten Flug des SI-1 auf „Meteor-25“ an der TP kein Mitarbeiter des Adlershofer PM-1-Entwickler-Teams „teilnahmeberechtigt“, und es gab folglich auch auf deutscher Seite keinen „Augenzeugen“ des für die erste SI-1 Mission folgenschweren „Missgeschicks“:

Am „Meteor-25“, auf dem das erste SI-1-Instrument montiert war, musste unmittelbar vor dem Start der defekte Ventilator, der zum Umwälzen des Stickstoffes im Inneren des Satelliten unbedingt nötig war,²³ ausgewechselt werden. Ein offensichtlich schlecht ausgewuchteter Ersatz-Ventilator hat danach aber über den metallischen Satellitenkörper mechanische Vibrationen auf das SI-1-Gerät ausgesendet, was zu sogenanntem *Jitter*, also „Verwackeln“ der linearen Vorwärtsbewegung des bewegten Spiegels des Interferometers führte, wenn das SI-1-Instrument im Messbetrieb lief.

Leider haben die sowjetischen Kollegen vom Hydrometeorologischen Dienst der UdSSR, die die Startvorbereitungen von „Meteor-25“ begleiteten, diesen ad-hoc Ventilatorwechsel gegenüber ihren deutschen Projektpartnern zunächst nicht für erwähnenswert gehalten.

Dank der von Dr. Volker Kempe und Gerald Fellberg geleisteten akribischen und mathematisch sehr anspruchsvollen Analyse konnten eindeutig *mechanische Vibrationen* nachgewiesen werden als Ursache für die „verjitterte“ Abtastung der IR-Messdaten und die daraus resultierenden irreparablen Verfälschungen der aus den SI-1-Interferogrammen gewonnenen Spektren. Das erfolgte zunächst im PM-1-Team und anschließend vor den Partnern des Hydrometeorologischen Dienstes (HMD), allerdings erst einige Monate nach dem Start von SI-1 am 25. Mai 1976 auf „Meteor 25“.

Weil aber bei den „Meteor“-Satelliten dieses Typs kein Steuerkommando vorgesehen war, um diesen „lebenswichtigen“ Ventilator auch nur kurzzeitig abzuschalten, folgte die *bittere Erkenntnis*, dass alle SI-1-Messungen auf „Meteor 25“ physikalisch und damit auch meteorologisch unbrauchbar waren.

Diese aufschlussreichen, aber eben unerfreulichen Erkenntnisse aus der ersten SI-1-Mission konnten mit einer Verzögerung von 3 Jahren publiziert werden (Kempe/Fellberg 1979, Kempe 1980).

Für die nachfolgenden SI-1-Missionen auf den „Meteor-28- und -29“-Satelliten wurden nach dieser „bitteren Lehre“ folgende Maßnahmen ergriffen:

- in die Aufhängung des SI-1-Optikblocks am Rumpf des Satelliten wurden, als sogenannte „Adapterlösung“, mechanische Dämpfungsglieder eingebaut, und
- es wurde für eine gute Auswuchtung des Ventilators zum Umwälzen des Stickstoffes im Thermal-Regel-System des „Meteor“-Satelliten gesorgt.

Die „Adapterlösung“ hat sich in den beiden nachfolgenden SI-1-Missionen auf „Meteor-28 und -29“ und bei der Venusmission mit den FS-1/4-Instrumenten auf „Venera 15 & 16“ sehr gut bewährt, denn der oben beschriebene vibrationsbedingte „Jittereffekt“ ist nicht mehr aufgetreten, und die in diesen Missionen gewonnenen thermalen Messdaten hatten eine sehr gute Qualität.

²² TP ist die russische Bezeichnung der Halle, in welcher Satellit und Rakete vor dem Start getestet werden.

²³ In der Schwerelosigkeit gibt es keine „natürliche Konvektion“ wie man sie auf der Erde kennt und nutzt.

Abb. 17 zeigt in einer tabellarische Übersicht für die drei SI-1-Missionen auf „Meteor-25, -28, -29“ die Starttermine, einige Bahnparameter, sowie Anmerkungen zur Qualität und Anzahl der SI-1-Messungen.

Die SI-1-Instrumente auf den „Meteor“-Satelliten wurden ausschließlich vom Hydrometeorologischen Dienst (HMD) der UdSSR gesteuert. Der Empfang der wissenschaftlichen Daten von SI-1 erfolgte in Obninsk bei Moskau für den HMD und für die AdW und den MD der DDR, wie oben schon kurz skizziert, in der Satellitenbodenstation des IE in Neustrelitz.

Abb. 18 zeigt eine Übersicht der mit SI-1 auf „Meteor 28“ gewonnenen infrarot-spektrometrischen Messungen, die im „Speicherbetrieb“ (also außerhalb der Funksicht der Empfangstationen) mit 1-minütigem Messtakt und einer geografischen Schrittweite von 400 km weltweit registriert und dann in der Satellitenbodenstation Neustrelitz empfangen wurden. Es handelt sich um insgesamt 1087 Messungen, die zwischen dem 5. Juli und dem 23. September 1977 erfolgten.

Die wissenschaftliche Auswertung und Archivierung dieser Daten erfolgte beim MD, und insbesondere Dr. D. Spänkuch und seinen Kollegen ist es zu verdanken, dass diese Daten bis heute erhalten sind.

So konnten SI-1-Daten, aufgenommen auf „Meteor-28 und -29“ in den Jahren 1977 und 1979, von europäischen Wissenschaftlern vier Jahrzehnte später für Re-Analyse²⁴-Zwecke genutzt werden.

Zuvor wurden die doch immerhin fast 40 Jahre alten SI-1-Absolutspektren von W. Döhler (er arbeitete schon 1977 mit diesen Daten), B. Theodore und D. Coppens bei EUMETSAT in Darmstadt validiert und aufbereitet, dass sie direkt vergleichbar waren mit den infrarot-spektrometrischen Daten der Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (IASI), die auf den europäischen operationellen Satelliten vom Typ „MetOp“ betrieben werden (Theodore, Coppens et al., 2015).

Meteor - N°	Starttermin	Perig./ Apog. (km)	Inclination (°)	Anmerkungen zur Qualität & Anzahl der SI-1 Messungen
25	15. Mai 1976	866 / 908	81.2	Stark gestörte SI-1 Messungen, hervorgerufen durch Vibrationen des Hauptventilators des Thermo-Regelungssystems von Meteor-25. Diese Mission diente hauptsächlich dafür, zu lernen, wie ein Michelson-Interferometer auf einem Satelliten mit einem Stickstoff-Thermoregulierungssystem zukünftig zu montieren und zu betreiben war.
28	29. Juni 1977	602 / 685	97.9	Weltweit 1100 Messungen an 22 Tagen von Juli bis September 1977 – und zwar mit stabiler Empfindlichkeit und hoher radiometrischer Präzision – aber mit kleinen Störungen bei 12,5µm, hervorgerufen durch externe niederfrequente elektrische Störer (wahrscheinlich vom Satelliten).
29	25. Januar 1979	628 / 656	98.0	Weltweit 2900 Messungen an 68 Tagen von Januar bis Juni 1979 – und zwar mit stabiler Empfindlichkeit und hoher radiometrischer Präzision – allerdings mit sporadisch auftretenden wenigen Störsignalen in begrenzten spektralen Bereichen, (wahrscheinlich induziert durch elektromagnetische Signale vom Satelliten).

Abb. 17. Tabellarische Übersicht der drei SI-1 Missionen auf drei „Meteor“ Satelliten. (Quelle: Oertel 2022)

²⁴ Re-Analyse ist ein Fachterminus für den wissenschaftlichen Vergleich von meteorologischen Messdaten aus verschiedenen Jahrzehnten oder zeitlich noch weiter auseinanderliegenden Epochen.

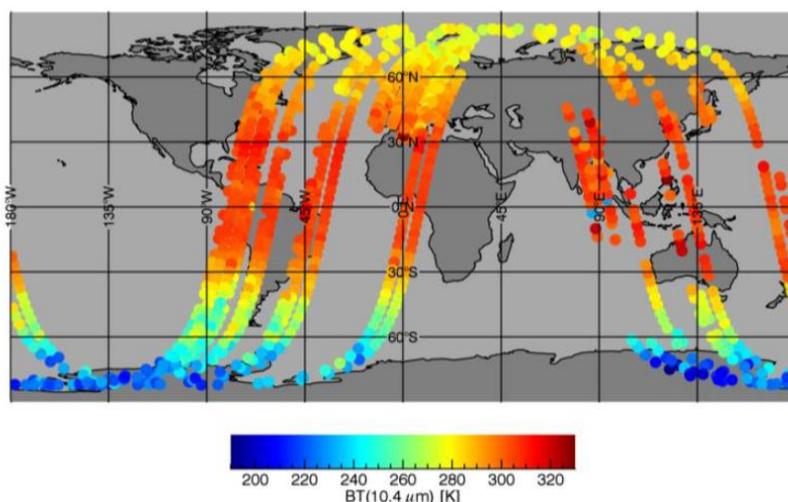


Abb. 18. Übersicht der mit SI-1 auf „Meteor-28“ vom 5. Juli bis 23. September 1977 gewonnenen Absolutspektren mit Farbkodierung der Helligkeitstemperatur im atmosphärischen Fensterbereich bei 10,4 μm . (Quelle: Theodore, Coppens et al. (2015))

Dr. V. Kempe führte vor seinem Wechsel an das ZKI erste Gespräche mit dem Leiter des Fachbereiches Planetenforschung am IKI Moskau, Prof. Vassilij Ivanovitch Moroz, über eine mögliche *Entwicklung eines IR-Fourier-Spektrometers für die Infrarotsondierung von Venus oder Mars aus einer Planetenumlaufbahn* durch die AdW der DDR, und er sorgte in Abstimmung mit dem Leiter des Forschungsbereiches Geo- und Kosmoswissenschaften, Prof. Dr. H. Stiller, für eine Antwort auf den Vorschlag des Hydrometeorologischen Dienstes der UdSSR, eine *neue Generation von Spektrometern-Interferometern in der DDR* zu entwickeln und diese dann *operationell* auf „Meteor“-Satelliten einzusetzen. Doch der Reihe nach:

Da der *Kleinserienbau* solcher Systeme nicht Aufgabe der Akademie der Wissenschaften der DDR sein konnte, führten Dr. V. Kempe und weitere Vertreter der Leiteinrichtung „Interkosmos“ der AdW mehrere Gespräche mit der Leitung des Forschungszentrums des Kombines Carl Zeiss Jena (CZJ), und zwar mit dem Ziel, diese *neue Generation von Spektrometern-Interferometern* gemeinsam zu entwickeln und bei CZJ zu produzieren.

Leider waren diese Bemühungen nicht von Erfolg gekrönt.

Diese „Klärung“ half der Akademie der Wissenschaften der DDR, sich 1978 für die Entwicklung und den Bau eines IR-Fourier-Spektrometers zur Sondierung von *Venus oder Mars aus einer Planetenumlaufbahn* zu entscheiden, d.h. sich auch für die erste deutsche Beteiligung an einer wissenschaftlichen Tiefraummission mit IR-Fourier-Spektrometern aus Berlin-Adlershof zu positionieren.

Dem Hydrometeorologischen Dienste der UdSSR und dem MD der DDR wurde 1978 von der AdW der DDR mitgeteilt, dass die DDR die gewünschte *neue Generation von Spektrometern-Interferometern* nicht entwickeln wird.

Dr. Dieter Oertel, seit 1973 Abteilungsleiter im Bereich 6 und seit 1971 Systemingenieur für die SI-1-Entwicklung, übernahm 1978 – nachdem Dr. V. Kempe Direktor des ZKI der AdW wurde – die Leitung des Bereiches 6 des IE, und er war gleichzeitig verantwortlich für:

- die Weiterführung des PM-1-Projektes zur Vorbereitung des 3. Starts eines SI-1-Instrumentes auf „Meteor-29“ (1979),²⁵ einem Beitrag der DDR und der UdSSR zum *Global Atmospheric Research Programme (GARP)* und
- die Entwicklung der IR-Fourier-Spektrometer für den Einsatz den sowjetischen „Venera 15 & 16“ Sonden.

Abb. 19 zeigt eine grafische Übersicht der SI-1 Messungen, registriert auf „Meteor-29“, und zwar zum großen Teil in Echtzeit gesendet und empfangen in der Satellitenbodenstation Neustrelitz. Es handelt sich um Messungen für den Zeitraum vom 26. Januar 1979 bis 19. Juni 1979, dargestellt mit Farbkodierung des Sonnen-Zenit-Winkels für jede einzelne Messung (Theodore, Coppens et al. 2015). Die in Echtzeit registrierten und empfangenen Messungen erfolgten mit einer Schrittweite von 100 km, d. h. sie liegen in Abb. 19 dicht beieinander.

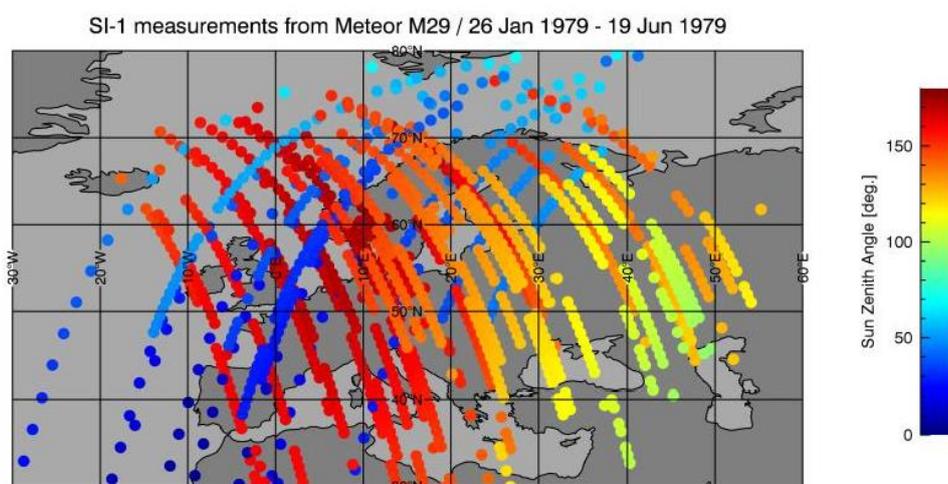


Abb. 19. SI-1 Messungen auf „Meteor-29“ im europäischen Raum für den Zeitraum von 26. Januar 1979 bis 19. Juni 1979, dargestellt mit Farbkodierung des Sonnen-Zenit-Winkels für jede einzelne Messung. (Quelle: (Theodore/Coppens et al. 2015))

Abb. 20 zeigt einen Vergleich von gemittelten spektralen Helligkeitstemperaturen, gewonnen aus SI-1-Messungen auf „Meteor-28“ (rot, von 1977) und IASI-Messungen (blau, von 2015) über dem wolkenlosen tropische Atlantik – also mit 38 Jahren Zeitdifferenz (Theodore/Coppens et al. 2015).

²⁵ Bei der Vorbereitung dieser 3. Mission von SI-1 auf einem „Meteor“ Satelliten konnten der SI-1 Systemingenieur, Wolfgang Bärwald, und der Autor dieses Beitrages – als Vertreter des PM-1 Teams aus Berlin Adlershof – erstmals an einem Testzyklus vom SI-1 Instrument am Satelliten teilnehmen, und zwar auf einer sogenannten Technischen Position (TP) bei Plesetsk (liegt zwischen Moskau und Archangelsk in Nordrussland).

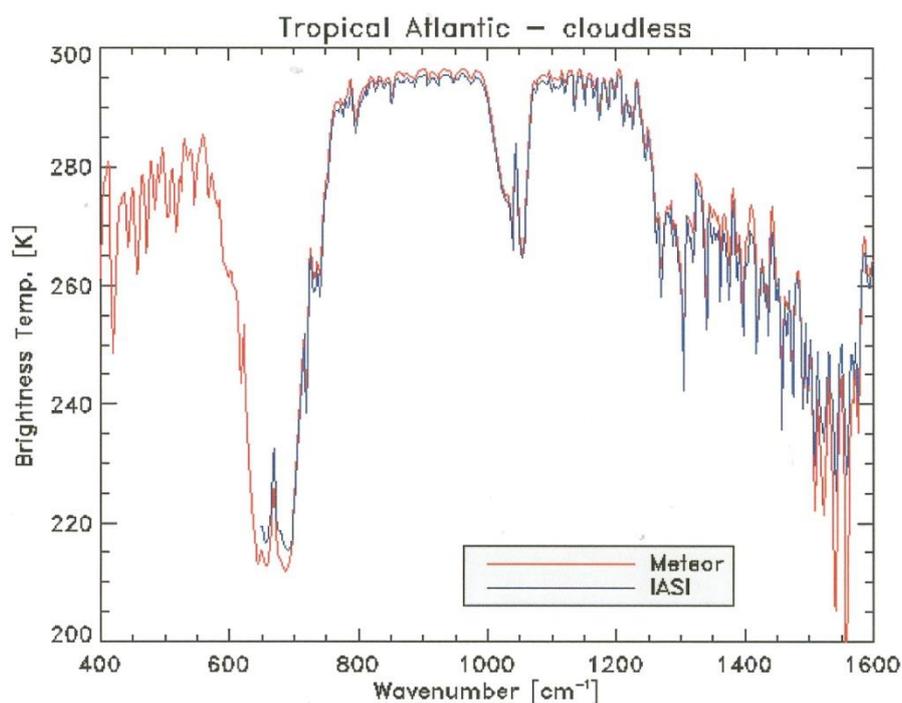


Abb. 20. Vergleich von gemittelten spektralen Helligkeitstemperaturen, gewonnen aus SI-1 Messungen auf „Meteor 28“ (rot, von 1977) und IASI-Messungen (blau, von 2015) über dem wolkenlosen tropischen Atlantik. (Quelle: Theodore/Coppens et al. 2015)

Da diese spektralen Helligkeitstemperaturen aus fast gleichen „Zielgebieten“ de-facto deckungsgleich sind, haben sowohl die Daten von SI-1 auf „Meteor-28“ als auch die von IASI auf MetOp²⁶ eine sehr hohe spektrale und radiometrische Präzision.

Ohne die SI-1-Entwicklung und die Erfahrungen aus den Missionen auf den „Meteor“-Satelliten hätte es keine erfolgreiche Mission mit IR-Fourier-Spektrometern aus Berlin Adlershof zur Venus gegeben. Das betrifft auch die im PM-1-Projekt gewonnene Erfahrung in der Bereitstellung umfangreicher Beschreibungen und Bedienungsanleitungen auf Russisch, insbesondere für die Tests der Instrumente durch die sowjetischen Partner in Abwesenheit der DDR-Kollegen.

Bei der Vorbereitung der Mission mit IR-Fourier-Spektrometern aus Berlin-Adlershof zur Venus galt nach den „Regeln“ bei der Vorbereitung von sowjetischen Tiefraummissionen bis in die 1980er Jahre, dass Ausländer an den Tests ihrer Instrumente im „Werk“ (also dort, z.B. in Moskau, wo die sowjetische Tiefraumsonden gebaut und getestet wurden) und am Startplatz der „Proton“-Raketen in Baikonur nicht teilnehmen durften. Das bedeutete viel Mehrarbeit, solide technische Russischkenntnisse, und es verlangte vorausschauendes Denken für das FS-1/4-Team in Berlin-Adlershof, denn:

- bei der Übergabe der FS-1/4-Geräte fand eine „Eingangsprüfung“ in einem „neutralen“ Gebäude des IKI in Moskau statt, bei der die Vertreter des Adlershofer PM-V-Teams zeigen mussten, dass „alles spielt“. Parallel dazu lernten sie ihre sowjetischen Partner an,

²⁶ Der Messbereich von IASI erstreckt sich im langwelligen Bereich nur bis ca. 16,5 μm (650 cm^{-1}). SI-1 hat im langwelligen Bereich bis 25 μm (400 cm^{-1}) gemessen.

- wie sie mit den IR-Fourier-Spektrometern und den elektronischen Prüfgeräten umgehen mussten, wenn „die Deutschen nicht dabei“ waren,
- es wurde nach dieser „Eingangsprüfung“ im IKI alles wieder in die Transportkisten verpackt, und dann erst
 - fanden die eigentlichen Tests der FS-1/4-Instrumente an und mit den „Venera“-Sonden im „Werk“ (und bei den Flugmustern später am Startplatz) statt, und das immer in Abwesenheit der Entwickler aus Berlin-Adlershof.

Einige Moskauer IKI-Kollegen aus dem Bereich von Prof. Moroz haben sich ab 1981 in lobenswerter Weise so gründlich in die Funktionsweise der FS-1/4-Instrumente eingearbeitet, dass es während dieser Tests nur selten zu telefonischen Rückfragen an das PM-V-Team in Berlin kam.

Gleiches trifft auch zu auf die FS-1/4-Missionsbetreuung in der sowjetischen Bodenstation für Interplanetare Missionen in Jevpatoria (Krim) und die Verarbeitung der FS-1/4-Daten im IKI-Rechenzentrum in Moskau.

Die Sonden Venera-15 und Venera-16 starteten am 2. und 7. Juni 1983 mit *Proton*-Raketen. Sie schwenkten am 10. und 12. Oktober 1983 in ihren Venus-Orbit ein. Die ersten Infrarot-Messungen wurden in ~ 100 Mio. km Entfernung von der Erde am 12. Oktober 1983 mit dem „FS-1/4-Ersatzflugmuster FM-3“²⁷ auf „Venera-15“ durchgeführt.

Es war wie Wunder, als am Tag darauf im Institut für Kosmosforschung in Berlin-Adlershof per FAX ein *Infrarot-Spektrum der Venusatmosphäre* ankam, welches von Prof. V. I. Moroz aus dem Institut für Kosmosforschung (IKI) in Moskau abgesendet wurde, denn dieses FAX bedeutete, dass:

- eines der FS-1/4 Instrumente erfolgreich aus dem sowjetischen Zentrum für Interplanetare Funkverbindungen in Jevpatoria auf der Krim eingeschaltet worden war,
- dieses Instrument im Perizentrum der Umlaufbahn auf die Venus ausgerichtet war,
- seine radiometrische an-Bord Kalibration exakt ablief,
- die Datenübertragung aus dem Venusorbit zur Erde, d.h. nach Jevpatoria, gut funktionierte und
- die FS-1/4-Daten im Rechenzentrum des IKI fehlerfrei zu Absolutspektren der Venusatmosphäre verarbeitet worden waren.

Dieses „erlösende Lebenszeichen“ erhielt das PM-V-Team in der DDR neun Monate nach der Übergabe des FS-1/4-Flugmusters (FM-3²⁸ mit der überarbeiteten Zäsium-Jodid-Strahlteiler-Halterung) im Januar 1983 an die Moskauer Kollegen um Prof. V. I. Moroz, die vollkommen selbstständig alle Arbeiten an den FS-1/4-Flugmustern mit großem Sachverstand und starken persönlichem Engagement ausgeführt hatten.

Abb. 21 zeigt die erste Schar von FS-1/4-Absolutspektren, aufgenommen am 12.10.1983 auf „Venera-15“ aus dem Venusorbit. Diese ersten Absolutspektren der Venus überdecken den Wellenlängenbereich von $6,7 - 38 \mu\text{m}$ (Oertel, Jahn et al., 1985). Die dazu gemessenen und digitalisierten Interferogramme wurden in Echtzeit an Bord im FS-1/4-Bordrechner (auf Basis eines Z-80-Mikroprozessors) zu Differenzspektren fourier-transformiert, wobei eine obere Grenzwellenlänge von $38 \mu\text{m}$ erreicht wurde, und dann zur Erde gesendet.

²⁷ In Oertel (2022) wird dargestellt, warum das Ersatzflugmuster FM-3 zum Einsatz kam, und wie ausgerechnet dieses Instrument, montiert auf „Venera-15“, fast alle der ca. 2000 bis heute unikalsten Absolutspektren registrierte.

²⁸ FM-3 ersetzte an der Sonde „Venera-15“ das FM-1. Details zu diesem „wissenschaftlich-technischen Krimi“ schildert Oertel (2022) auf den S. 84/85.

Aus diesen Differenzspektren wurden im Rechenzentrum des IKI die Absolutspektren prozessiert. Diese Daten wurden ohne Verzögerungen an die deutschen Partner im IKF, ZISTP und Meteorologischen Dienst (MD) der DDR weitergegeben. Im MD wurden diese unikalenen Daten archiviert, und sie wurden 2018 durch Dr. Spänkuch und W. Döhler an die Planetenbibliothek der DLR-Institutes für Planetenforschung (DLR-PF) übergeben, um sie auch weiter der Fachwelt zugänglich zu machen.

Die IR-Fourier-Spektrometer (FS-1/4) auf den Venusorbitern „Venera 15“ und „Venera 16“ registrierten von Oktober bis Dezember 1983 insgesamt ca. 2000 Infrarot-Spektren der Venusatmosphäre oberhalb der geschlossenen Wolkendecke im Wellenlängenbereich von 6,7–38 μm bzw. 6–40 μm . Die hier genannten, etwas unterschiedlichen Wellenlängenbereiche für die aus den Interferogrammen berechneten spektralen Strahldichten ergaben sich aus der Art der an-Bord Datenvorverarbeitung im vierfach redundanten Bordcomputer der FS-1/4-Instrumente, ausgerüstet mit Z-80-Mikroprozessoren²⁹ (siehe ggf. weiter technische Details in Oertel 2022).

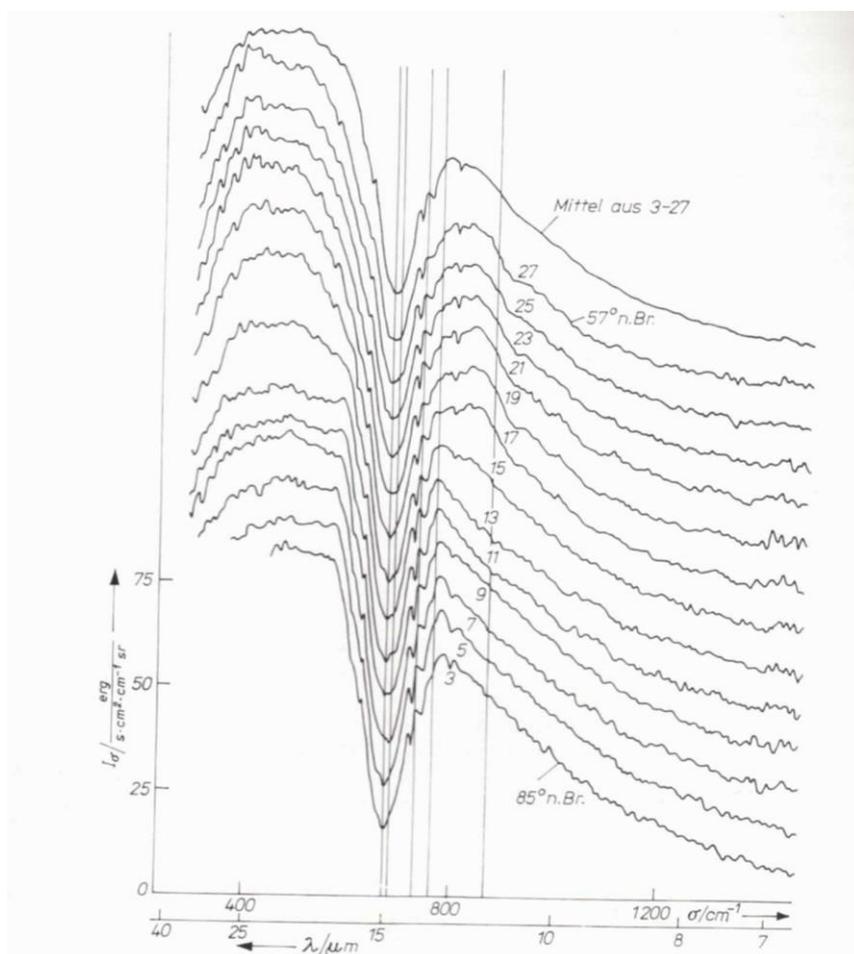


Abb. 21. Eine Schar der ersten mit FS-1/4 auf „Venera-15“ am 12. Oktober 1983 gewonnenen Absolutspektren im Wellenlängenbereich 6,7–38 μm . Zur Übersichtlichkeit sind die Spektren in Ordinateurichtung um einen konstanten Betrag zueinander verschoben. Nur für die unterste Kurve gilt deshalb die angegebene Ordinatenskala. Unterhalb der Abszisse mit der Wellenzahlskala ist eine weitere Strecke mit Angabe der Wellenlängen eingefügt. (Quelle: Oertel/Jahn et al. 1985)

²⁹ In der DDR gab es damals den Mikroprozessor U 880, der funktionell dem Z-80 entsprach.

Der Einsatz von Z-80-Mikroprozessoren vom sogenannten Commercial-of-the-Shelf (COTS)-Typ war zwar ein gewagter, aber notwendiger Schritt, um: (a) die Überwachung und Steuerung der Instrumente über die Funkverbindung³⁰ zusätzlich durch sogenannte „an-Bord Autonomie“ zu sichern, und (b) die Messdaten an Bord so aufzubereiten, dass sie „störsicherer“ waren gegen mögliche Fehler bei der Datenübertragung über eine Strecke von bis zu 200 Mio. km.

Redundant aufgebaute Bordrechner, die sich gegenseitig kontrollierten, realisierten die an-Bord Autonomie der Infrarot-Fourier-Spektrometer auf „Venera-15“ und „Venera-16“. Das war für 1983 eine Pionierleistung, und sie diente später als Vorbild für die Entwicklung sehr kompakter und leistungsfähiger Bordrechner, z.B. des Kleinsatelliten zur „Bispektralen InfraRot Detektion (BIRD)“.³¹

Abb. 22 zeigt einen Vergleich der spektralen Helligkeitstemperaturen der Erde und ihrer Atmosphäre, abgeleitet aus einer Messung mit SI-1 auf „Meteor-28“ vom 2.8.1977 und der Venusatmosphäre über den Wolken in der nördlichen Hemisphäre, abgeleitet aus einer Messung mit FS-1/4 auf „Venera-15“ vom 17.11.1983. Diese FS-1/4-Messung fand statt, als die übertragungstechnische Situation auf der „Venera-15“-Sonde es erlaubte³², statt der Differenzspektren, gewonnen aus den an Bord fourier-transformierten Interferogrammen von FS-1/4, nun die digitalisierten Interferogramme direkt zur Erde zu übertragen und damit (i) die gleiche spektrale Auflösung wie bei SI-1, nämlich 5 cm^{-1} , und (ii) den vollen spektralen Messbereich von $6 - 40 \mu\text{m}$ zu realisieren.

Der vergleichsweise viel höhere Wasserdampfgehalt in der Erdatmosphäre ist in Abb. 22 durch die starken Absorptionen unterhalb $8 \mu\text{m}$ und oberhalb von $20 \mu\text{m}$ ersichtlich. Beide Spektren zeichnen sich durch breite Kohlendioxid-Absorptionsbanden im Wellenlängenbereich von $15 \mu\text{m}$ aus.

Ozon, welches im Spektrum der Erdatmosphäre eine gut ausgeprägte Absorptionsbande bei $10 \mu\text{m}$ hat, gibt es nicht in der Venusatmosphäre oberhalb der geschlossenen Wolkendecke, die hauptsächlich aus Schwefelsäuretröpfchen besteht.

³⁰ Die Funksignale von der Erde zur Venus (oder umgekehrt) hatten eine Laufzeit von bis zu 10 Minuten.

³¹ BIRD wurde im Institut für Weltraumsensorik des Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR-WS) am Standort Berlin-Adlershof in den Jahren 1996–2001 entwickelt, gebaut und getestet. BIRD startete 2001 und lieferte mehrere Jahre exzellente Infrarot-Daten für international anerkannte wissenschaftliche Beiträge zur Feuerfernerkundung (siehe auch Abb. 12 dieses Beitrags).

³² Ab Mitte November 1983 fanden auf „Venera-15“ keine Radio-Okkultationsmessungen mehr statt, und damit konnte die Datenrate zur Übertragung der FS-1/4-Daten an die Bodenstation in Jevpatoria gegenüber der vorherigen Situation verdoppelt werden, was es ermöglichte, statt der Differenzspektren nun auch die digitalisierten Interferogramme sicher zu übertragen.

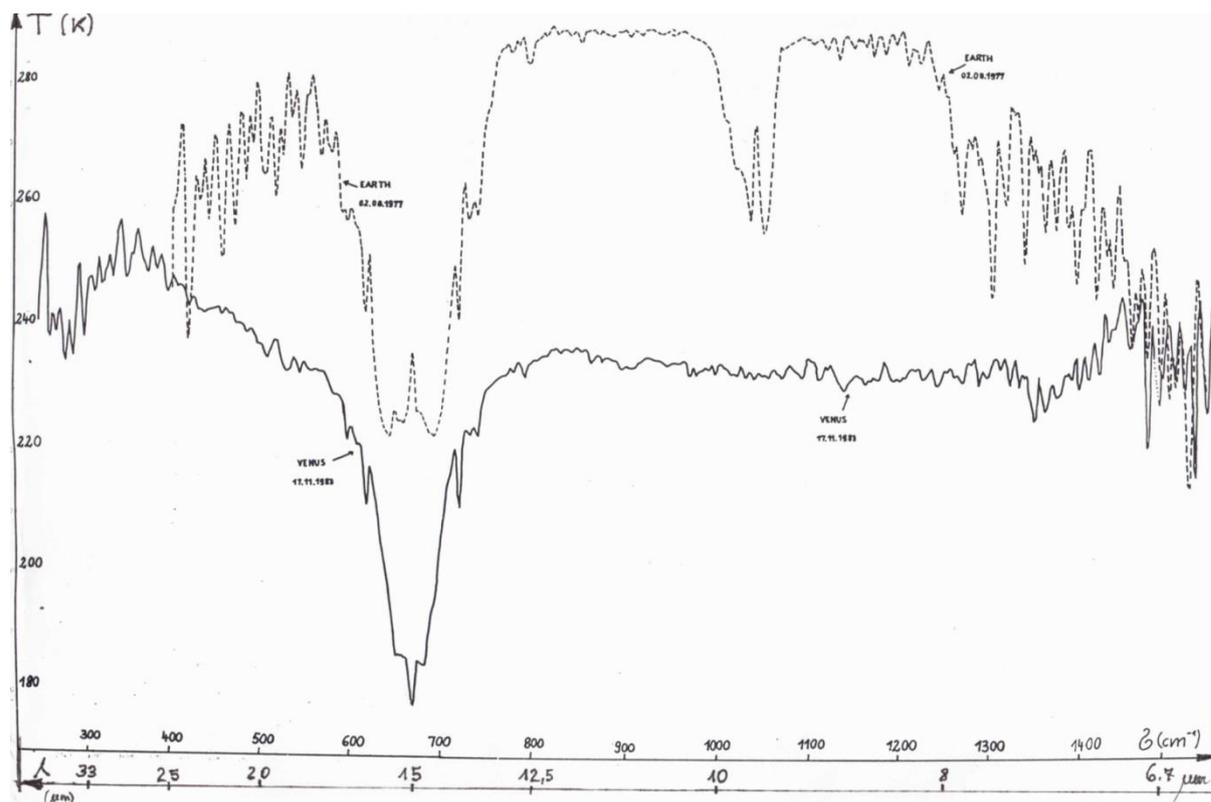


Abb. 22 Vergleich der spektralen Helligkeitstemperaturen der Erde und ihrer Atmosphäre, abgeleitet aus einer Messung mit SI-1 auf „Meteor-28“ und der Venusatmosphäre über den Wolken in der nördlichen Hemisphäre, abgeleitet aus einer Messung mit FS-1/4 auf „Venera-15“. (Quelle: Privates Bildmaterial von D. Oertel)

Obwohl die Venus an ihrer Oberfläche 450°C (also 723 K) heiß ist, sind ihre in 60 km Höhe schwebenden dichten Wolken „von oben gesehen“ nur ca. 230 K (also -43°C) kalt. In dem wolkenfreien Ozeangebiet der SI-1-Aufnahme vom 2.8.1977 beträgt die Wassertemperatur ca. 290 K (also $+17^{\circ}\text{C}$), was man aus den beiden Plateaus rechts und links der Ozon-Absorptionsbande (d.h. im sogenannten „großen atmosphärischen Fenster“ zwischen 8 und 12 μm) erkennen kann.

Nicht unerwähnt sollte am Ende der Ausführungen zum Bereich 6 des IE bleiben, dass in der Abteilung Theorie dieses Bereiches, die Dr. Herbert Jahn leitete, an der signal- und systemtheoretisch begründeten Optimierung von Interferometern für die Messung von Planeten und ihren Atmosphären gearbeitet wurde, was u.a. in Jahn et al. (1982) und Jahn (1984) ausgewiesen ist, und was auch eine solide Grundlage für die nach 1981 im IKF begonnenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten darstellte. Nach der Publikation von Jahn et al. (1982) wurde allen Autoren dieses Artikels angeboten, Mitglied der Optical Society of America (OSA) zu werden.

Abschließende Bemerkungen

Anfang der 1980er Jahre haben sich, zunächst noch im IE und dann im IKF, die Arbeiten der hier dargestellten wissenschaftlichen Bereiche 4, 5 und 6 verstärkt der Entwicklung bildmessender optischer und infraroter Sensoren zugewandt, was belegt sei mit folgender kurzer Aufzählung:

- im Bereich 4 begann – als Auftragsentwicklung für das Kombinat Carl Zeiss Jena – die Entwicklung des *Autonomen Sternen Navigationssystem für Satelliten* „ASTRO“, wo als Strahlungsdetektor in der Sternkamera ein CCD³³ Matrixdetektor verwendet wird,
- im Bereich 5 begann die Entwicklung des abbildenden Spektro-Radiometers mit der Bezeichnung *Multispectral Optoelectronic Scanner (MOS)* einschließlich der Entwicklung der für MOS-Instrumente erforderlichen CCD-Fokalebentechnik³⁴ (siehe Zimmermann/Oertel 1990) und
- im Bereich 6 fanden signal- und systemtheoretische Arbeiten sowie technische Entwicklungen zur aero-kosmischen optischen und infraroten Bildmesstechnik statt, wie zum Experimentellen Flugzeug-Aufnahme-System (EFAS), oder zur im MOS-Block A erforderlichen CCD-Fokalebentechnik (siehe Zimmermann/Oertel 1990).

Abb. 23 zeigt zusammenfassend eine grafische Übersicht aller „Interkosmos“-Projekte, die durch das Zentralinstitut für Solar-Terrestrische Physik / Heinrich Hertz Institut (ZISTP/HHI), die Forschungsstelle für kosmische Elektronik (FKE), das Institut für Elektronik (IE) und das Institut für Kosmosforschung (IKF) realisiert wurden (aus Hein-Weingarten 2000).

Die vorangegangenen Ausführungen belegen das im Institut für Elektronik erreichte hohe Niveau der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und die federführende Rolle der Fachbereichsleiter des IE.

Dafür wurden in dieser Abhandlung, neben den Leistungen im „Bodensegment“, wie dem Aufbau der Satellitenbodenstation in Neustrelitz, der Entwicklung der Optimal-Demodulatoren für die Mobile Wetterbildempfangsanlage und für das Fernsehübertragungssystem „Intersputnik“, aus der großen Anzahl von kosmischen Experimenten beispielhaft die komplexesten Missionen auf „Interkosmos“- und „Meteor“-Satelliten sowie auf den zwei Tiefraumsonden „Venera-15“ und „Venera-16“ ausgewählt.

³³ CCD – Charge Coupled Device, ist ein mikro-optoelektronisches lichtempfindliches Mehrelemente-Halbleiter-Bauelement auf Basis von Silizium, wo die Detektorelemente entweder „in einer Zeile“ (CCD Zeilen) oder flächenhaft (CCD-Matrix) angeordnet sind.

³⁴ Ordnet man z.B. mehrere CCD-Zeilen parallel zueinander in einer Ebene an, die als sogenannte Hybrid-Baugruppe in der Fokalebene eines Objektivs montiert wird, spricht man von einer CCD-Fokalebene.

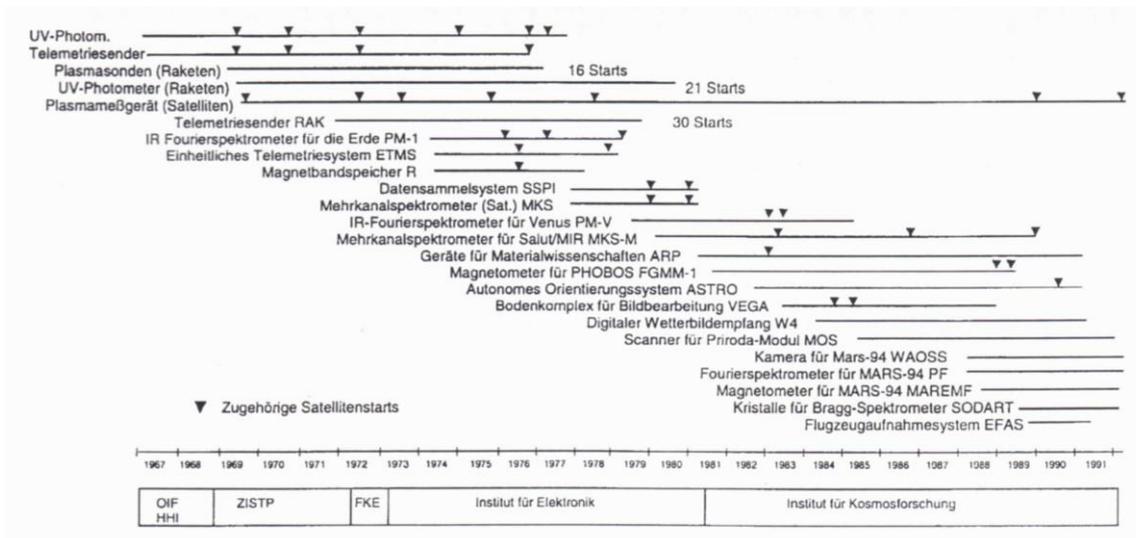


Abb. 23. Übersicht aller „Interkosmos“ Projekte, die durch das ZISTP/HHI, die Forschungsstelle für kosmische Elektronik (FKE), das Institut für Elektronik (IE) und das Institut für Kosmosforschung (IKF) realisiert wurden. (Quelle: Hein-Weingarten 2000).

Ohne diese „Leuchtturmprojekte“ des IE und IKF gäbe es wahrscheinlich folgende Projekte und Missionen nicht, die alle nach 1992 am Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort (WISTA) in Berlin-Adlershof ihren Ursprung hatten:

- die Mission mit dem abbildenden Spectro-Radiometer MOS auf dem indischen Satelliten IRS-P3 (1996 -2003),
- die drei IR-Kleinsatelliten-Missionen: BIRD (2001–2004), TET-1 (2012–2019) und BIROS (seit 2016), welche international anerkannte Zeichen setzten für die quantitative Feuerfernerkundung,
- die Entwicklung einer multispektralen digitalen Flugzeugkamera auf Basis von CCD-Zeilendetektoren im Auftrag der Schweizer Firma LEICA,
- die Entwicklung von CCD-Fokalebene-Modulen für die südkoreanischen KOMPSAT Aufklärungssatelliten (im Unterauftrag des Unternehmens *Airbus*) und
- die wissenschaftliche *und* instrumentelle Beteiligung des DLR Berlin-Adlershof an der laufenden Mission *Bepi Colombo* zum Planeten Merkur,³⁵ ausgerichtet von ESA und JAXA, mit dem deutschen *MERCURY Thermal Infrared Spectro-radiometer (MERTIS)*, eingesetzt auf dem *Mercury Planetary Orbiter (MPO)* (Walter et al., 2006).

Abschließend erscheint es in dieser Abhandlung unbedingt geboten, die wissenschaftlich-organisatorische Rolle des IE als **Sekretariat des Koordinierungskomitees „Interkosmos“** zu würdigen.

Abb. 24. zeigt die zentrale Rolle des Sekretärs des Koordinierungskomitees „Interkosmos“ (Hein-Weingarten 2000), die von 1974 bis 1991 von Dr. Ralf Joachim wahrgenommen wurde, der ab 1975 auch Stellvertreter des IE Direktors Prof. H.-J. Fischer sowie der IKF-Direktoren Prof. Dr. Knuth und Prof. Dr. Kautzleben war, siehe auch Abb. 1.

³⁵ Die Sonde *Bepi Colombo* ist auf dem Weg zum Merkur und soll dort 2025 in eine Umlaufbahn einschwenken.

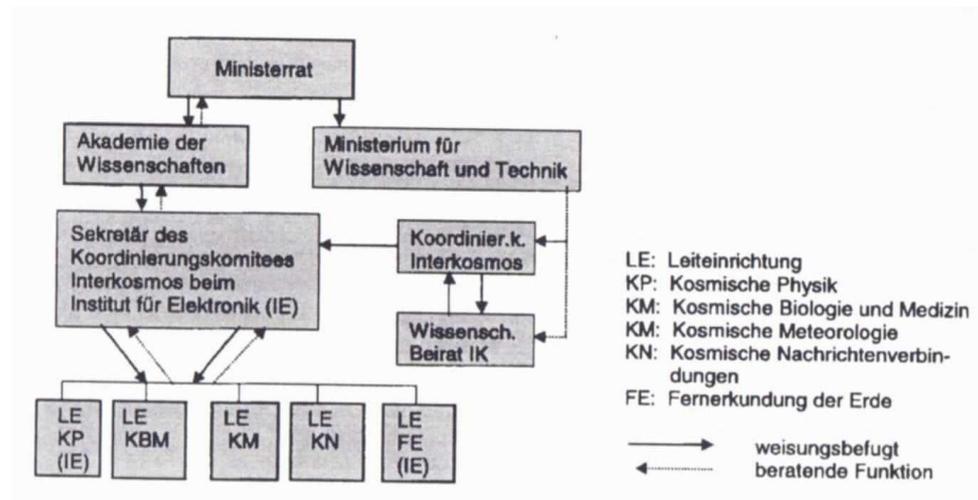


Abb. 24. Rolle des Sekretärs des Koordinierungskomitees „Interkosmos“.³⁶ (Quelle: Hein-Weingarten, 2000)

Gleichzeitig mit der Funktion des Sekretärs des Koordinierungskomitees „Interkosmos“, ausgefüllt von Dr. R. Joachim, war das IE Leiteinrichtung für Vorhaben und Projekte der DDR zur Kosmischen Physik (vertreten im IE durch Prof. K.-H. Schmelovsky und Dr. G. Zimmermann) und zur Fernerkundung (vertreten im IE durch Dr. R. Joachim und Dr. G. Zimmermann).

Leiteinrichtung für Vorhaben und Projekte der DDR zur Kosmischen Meteorologie war der Meteorologische Dienst der DDR (vertreten durch Dr. Ilse Spahn).

Leiteinrichtung für Vorhaben und Projekte der DDR zur Kosmischen Nachrichtentechnik war die Post der DDR.

Leiteinrichtung für Vorhaben und Projekte der DDR zur Kosmischen Biologie und Medizin war das Institut für Luftfahrtmedizin der DDR in Königsbrück, (vertreten durch Medizinalrat Oberst Dr. Haase.)

Insbesondere für die Vorbereitung des Fluges von Oberstleutnant Sigmund Jähn mit seinem Kommandanten Oberst Waleri Bykovski im August/September 1978 auf „Sojus-31“, der Raumstation „Saljut-6“ und „Sojus-29“ (Rückkehr) – hatte Dr. R. Joachim und sein überschaubares Team im IE innerhalb von weniger als zwei Jahren³⁷ eine „Mammutaufgabe“ zu leisten, wobei er es mit Experten aus den unterschiedlichsten wissenschaftlichen Bereichen und technischen Branchen der DDR zu tun bekam:

Innerhalb kürzester Zeit mussten die strengen Vorschriften für Geräte und Instrumente, die in der bemannten Raumfahrt eingesetzt werden, im IE-Team um Dr. R. Joachim „verinnerlicht“ und an die Einrichtungen weitergegeben werden, die für den ersten Deutschen im All und seine sowjetischen Kosmonauten-Kollegen gut handhabbare Experimente in der Schwerelosigkeit vorbereiteten.

In der autorisierten Biografie „Der fliegende Vogtländer Sigmund Jähn“ (Hoffmann 1999) wird dazu auf S. 206 berichtet:

„Das Wissenschafts-Paket, das die DDR ihrem Kosmonauten vorbereitet hatte, war von beachtlichem Format und Gewicht, umfasste es doch 22 Versuchsanordnungen und acht

³⁶ Leiteinrichtung für Kosmische Biologie wird kurz KBM bezeichnet und nicht (auch) KM, was für Kosmische Meteorologie steht.

³⁷ Der Beschluss zur Beteiligung der DDR an einer bemannten Mission der UdSSR mit einem Kosmonauten aus der DDR wurde 1976 gefasst.

speziell entwickelte Apparaturen – drei Kameras und fünf Messgeräte. Die Experimente erfolgten in fünf Forschungsrichtungen: Erdfernerkundung, Medizin, Biologie, Materialwissenschaften und Geophysik. Der Gerätepark brachte annähernd 200 Kilogramm auf die Waage, wobei die Multispektralkamera MKF-6 mit 172 kg den größten Brocken darstellte. Der von Waleri Bykovski und Sigmund Jähn mit „Sojus-29“ zur Erde befördert „Koffer“ mit Arbeitsergebnissen – Filmrollen und Tonbänder, Materialproben und Bioampullen – wog 60 kg.“ (Die MKF-6 verblieb auf „Saljut-6“)

Rückblickend urteilte Sigmund Jähn zwei Jahrzehnte später:

„Leider war bei unserem Forschungsprogramm alles geheim, was die wissenschaftliche Anerkennung erschwerte. Nach 1990 gewann ich Einblick in die Programme für bemannte Missionen, die von der Deutschen Forschungsanstalt für Luft und Raumfahrt (DLR) und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) in Zusammenarbeit mit den amerikanischen und russischen Raumfahrtagenturen NASA und RKA in Angriff genommen wurden. Deshalb kann ich sagen, dass das, was die Wissenschaftler der DDR und der UdSSR damals an Experimenten für uns vorbereiteten, nicht weniger anspruchsvoll war.“ (Hoffmann 1999: 207)

Eine bessere Wertschätzung im Hinblick auf die Vorbereitung der Experimente des ersten Deutschen im All gibt es wohl kaum.

Die Geheimhaltung erschwerte allerdings auch die Sichtbarkeit der durchaus anspruchsvollen Ergebnisse unbemannter „Interkosmos“-Missionen, wie beispielsweise, der Missionen des IE und seiner Partner mit den Spektrometern-Interferometern auf den Satelliten „Meteor-28 und -29“.

Dieser Beitrag soll also:

- eine „Lücke schließen“, weil es bislang, (auch wegen der Geheimhaltung), keine Abhandlung gibt über wichtige Ergebnisse und z.T. miteinander verknüpfte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des Institutes für Elektronik und seiner Kooperationspartnern für das „Interkosmos“ Programm und
- dem Leser vermitteln, dass im IE die wissenschaftlichen Experimente, die Entwicklung komplexer elektronischer und opto-elektronischer Instrumente für den Einsatz im erdnahen Kosmos und der Aufbau einer Satellitenbodenstation zum Empfang der digitalen Messdaten untrennbar zusammengehörten.

Die für Anwendungen in der Kosmischen Physik, der Kosmischen Meteorologie und in der spektro-radiometrischen Fernerkundung auf sowjetischen „Interkosmos“ oder „Meteor“ Satelliten weltweit durchgeführten Messungen mit Instrumenten des Institutes für Elektronik und seiner Kooperationspartner haben zum Zeitpunkt der Gründung des Institutes für Kosmosforschung im Jahr 1981 das sogenannte „Weltniveau“ erreicht oder sogar mitbestimmt.

Bibliographie

- Halle, Winfried/Oertel, Dieter, (Hrsg.), 2023: *Der Kleinsatellit BIROS in der FireBIRD Mission*, ISBN DLR-FB 2023-03, DOI: <https://doi.org/10.57676/59rp-mr71>.
- Harvey, Brian (2021): 40. Jahrestag der Gründung des Instituts für Kosmosforschung – eine persönliche Reflexion, *Leibniz Online*, Nr. 43.
- Harvey, Brian (2022): Forgotten Space Agency. Who has heard of the IKF? *Space Chronicle* 2–3, 8–20.

- Hein-Weingarten, Katharina, (2000): *Das Institut für Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR, Ein Beitrag zur Erforschung der Wissenschaftspolitik der DDR am Beispiel der Weltraumforschung von 1957 bis 1991*, Dissertation, erschienen in der Rubrik „Zeitgeschichtliche Forschungen 4“ bei Duncker & Humblot, Berlin.
- Hofmann, Horst, (1999): *Der fliegende Vogtländer Sigmund Jähn* Autorisierte Biographie, Berlin: „Das Neue Berlin“ Verlagsgesellschaft mbH.
- Jahn, Herbert/Fellberg, Gerald/Gladitz, Benno/Scheele, Martin (1982): Maximum Likelihood Optimisation of a Fabry-Perot Interferometer for Thermospheric Temperature and Wind Measurements, *Journal of Opt. Soc. America*, Vol. 72, 386–392.
- Jahn, Herbert, (1984): *Optimale Methoden der Signalverarbeitung und ihre Anwendung in der kosmischen Fourierspektroskopie*, Dissertation B, Akademie der Wissenschaften der DDR.
- Jakowski, Norbert/Mohammed Mainul Hoque/Martin Kriegel/Vaibhav Patidar (2015): The persistence of the NWA effect during the low solar activity period 2007–2009, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 120, doi:10.1002/015JA021600.
- Kempe, Volker/Fellberg, Gerald (1979): Probleme der Satelliten-Fourierspektroskopie. Teil 1. *Z. elektr. Informations- u. Energietechnik*, Leipzig, Bd.9, N° 5, 443–455.
- Kempe, Volker (1980): Satellite-Fourier-spectrometer for Meteor-25: design problems and mission. *Acta Astronautica*, Vol. 7, 893–902.
- Kempe, Volker/Oertel, Dieter/Schuster, Reinhard/Becker-Ross, Helmut/Jahn, Herbert (1980): Absolute IR-spectra from the measurement of Fourier-spectrometers aboard Meteor 25 and 28. *Acta Astronautica*, Vol. 7, 1403–1416.
- Klinker, Ludwig/Karl-Heinz Schmelovsky/Robert Knuth (1960): Jahreszeitliche Variationen der mittleren Elektronenkonzentration zwischen 400 und 1200 km Höhe, *Die Naturwissenschaften*, Heft 9, 197/198.
- Oertel, Dieter (2022): Infrarot-Fourier-Spektrometer auf den Venus-Sonden „Venera 15 & 16“, in *Wissenschaftlich-technische Aspekte der Venuserkundung, Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften*, Band 71, S. 49–113, trafo Wissenschaftsverlag.
- Oertel, Dieter (2021): *Anmerkungen zum Beitrag von Brian Harvey „40. Jahrestag der Gründung des Instituts für Kosmosforschung“; Ergänzungen zu Harveys Artikel „IKF 40 – a personal view*, Leibniz Online, Nr. 43, 2 v. 5.
- Oertel, Dieter/Halle, Winfried/Terzibaschian, Thomas (2022): Kleinsatelliten zur Infrarot-Feuerfernerkundung aus Berlin Adlershof, in: *Wissenschaftlich-technische Aspekte der Venuserkundung, Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften*, Band 71, 151–186, trafo Wissenschaftsverlag.
- Oertel, Dieter/Jahn, Herbert/Schuster, Reinhard/Fellberg, Gerald/Becker-Ross, Helmut/Bärwald, Wolfgang/Stadthaus, Wolfgang (1985): Physikalisch-technisches Konzept der Infrarot-Fourier-Spektrometer von „Venera 15“ und „Venera 16“, *Experimentelle Technik der Physik*, Bd 33, 41–59.
- Oertel, Dieter/Jakowski, Norbert/Spänkuch, Dietrich (2023): Nachruf für Professor Dr. Robert Knuth, *Abhandlungen der Leibniz Sozietät*, Bd. 72, im Druck.
- Schmelovsky, Karl-Heinz (1983): *Zustandsschätzung und adaptive Regelung mit mikroelektronischen Mitteln*, Berlin: Akademie-Verlag.
- Salvini-Plaven, Diepold (2004): Vom Institut für Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR zum Forschungszentrum Berlin-Adlershof des DLR. In: *35 Jahre Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Impressionen eines Forschungsunternehmens*, hrsg. von Schroggl, Kai-Uwe/Schmidt-Tedd, Bernhard (Hrsg.), DLR-Vorstand, 190–197.
- Terzibaschian, Thomas/Yoon, Zizung/Raschke, Christian/Maibaum, Olaf. (2009): Robust and fault tolerant AOCS of the TET satellite, *7th Symposium on Small Satellites for Earth Observation*, Berlin: Wissenschaft und Technik Verlag.

- Theodore, Bernard/Coppens, Dorothea/Döhler, Wolfgang/Damiano, Antimo/Oertel, Dieter/ Klaes, Dieter/Schmetz, Johannes/Spänkuch, Dietrich (2015): A Glimpse into the Past: Rescuing Hyperspectral SI-1 Data from Meteor 28 and 29, *Proceedings of the 2015 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference*.
- Walter, Ingo/Hirsch, Helmut/Jahn, Herbert/Knollenberg, Jörg/Venus, Holger (2006): MERTIS – a highly integrated IR imaging spectrometer, SPIE 6297–31, *Infrared Spaceborne Remote Sensing XIV*, 62970X, <https://doi.org/10.1117/12.679481>
- Zimmermann, Gerhard/Oertel, Dieter (1990): *Statusbericht der Bereiche Spektrometrische Fernerkundung und Optoelektronische Systeme vom September 1990*, Institut für Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften, Berlin.

E-Mail-Adresse des Verfassers: kdoertel@t-online.de