

AT 8900205 - 225

INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ  
GRAZ, ÖSTERREICH

INIS-mf--11480

JAHRESBERICHT

BERICHTSZEITRAUM

Oktober 1986 - September 1988

## JAHRESBERICHT 1986/88

Das Institut für Theoretische Physik an der Technischen Universität Graz legt hiemit einen Bericht über die in den Studienjahren 1986/87 und 1987/88 durchgeführten Forschungsarbeiten und über die Lehrtätigkeit vor.

Der Bericht zählt die ständigen Mitarbeiter auf und auch diejenigen, die nur für kürzere Zeit am Institut tätig waren. Er gibt kurze Beschreibungen der verschiedenartigen wissenschaftlichen Projekte, die von den Mitarbeitern in der genannten Zeit auf den Gebieten der Elektrodynamik, Quantenmechanik, Theoretischen Festkörperphysik, Transporttheorie, Mathematischen Physik, Energiephysik und -ökonomie, Fusions- und Plasmaphysik sowie der Reaktor- und Strahlenphysik bearbeitet worden sind. Es fehlt auch nicht eine Liste der Lehrveranstaltungen.

Wir möchten es nicht versäumen, für die finanzielle und materielle Förderung unserer Arbeiten unseren Dank auszusprechen. Dieser gilt dem Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung, der Internationalen Atomenergieorganisation, dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, dem Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank, der Abteilung für Wissenschaft und Forschung der Steiermärkischen Landesregierung, der Friedrich Schiedel-Stiftung für Kernfusionsforschung, der Kommunalen Energiesparagentur für Steiermark, der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen bei München.

Eine traurige Entscheidung hat unser Institut betroffen, da das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung das vakante Ordinariat bis auf weiteres nicht besetzt.

Als Institutsvorstand möchte ich auch allen Mitarbeitern danken, die in dieser Zeit mit großem Einsatz gute Arbeit geleistet haben. Interessenten für spezielle Arbeitsgebiete sind eingeladen, sich mit den jeweiligen Mitarbeitern direkt in Verbindung zu setzen.

B. Schnizer

Graz, im November 1988

ao.Prof.Dr.B.Schnizer  
Institutsvorstand

**Impressum:**

**Herausgeber: Institut für Theoretische Physik  
Technische Universität Graz  
Petersgasse 16, A-8010 Graz**

**Für den Inhalt verantwortlich: ao.Univ.Prof.Dr.B.Schnizer**

## MITARBEITER DES INSTITUTES

Ao.Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.techn.Manfred HEINDLER (Institutsvorstand Oktober 1985-September 1987)  
Ao.Univ.Prof.Dr.phil. Bernhard SCHNIZER (Institutsvorstand seit Oktober 1987)  
Ao.Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.techn.Walter PAPOUSEK  
Tit.Ao.Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.techn.Hansjörg MÜLLER  
em.o.Univ.Prof.Dr.rer.nat.Ernst LEDINEGG  
Univ.Doiz.Dipl.Ing.Dr.techn.Wolfgang BULLA  
Univ.Doiz.Dipl.Ing.Dr.techn.Ewald SCHACHINGER  
Univ.Doiz.Dipl.Ing.Dr.techn.Ferdinand SCHÜRRER  
Univ.Assist.Dipl.Ing.Dr.techn.Winfried KERNBICHLER  
Oberrat Dipl.Ing.Dr.techn.Waldemar NINAUS  
Oberrat Dipl.Ing.Dr.techn.Herbert RABITSCH  
Amtssekretär Ing.Karl OSWALD  
Amtssekretär Ing.Gunthard KAHR  
Oberoffizial Ludwig ROSMANN (Werkstättenleiter)  
Gudrun HAAS (Sekretariat)  
Klaus GODINA (Lehrling)  
Detlef LIERZER (Lehrling)

Ersatzkräfte für nicht besetzte Ordinariatsstelle (im Wechsel, halb- oder vollbeschäftigt):

VA Dipl.Ing.Dr.techn.Werner WEIGLHOFER  
VA Dipl.Ing.Dr.techn.Rudolf ZIEGELBECKER  
VA Dipl.Ing.Georg KÜGERL  
VA Dipl.Ing.Karl UNTERKOFLER  
Stud.Ass.Karl-Heinz LESCH

Mitarbeiter aus eigenen Einnahmen:

VA Dipl.Ing.Dr.techn.Ali NASSRI  
VA Dipl.Ing.Dr.techn.Michael PROHAMMER  
VA Dipl.Ing.Rainer FELDBACHER  
VA Dipl.Ing.Gerolf HEINRICHS  
VA Dipl.Ing.Winfried KERNBICHLER  
VA Dipl.Ing.Andreas MOLIN  
VA Dipl.Ing.Werner PINT  
Stud.Ass.Bruno BESSER  
Harald KRAHNER (Lehrling)  
Manfred PERNER (Lehrling)  
Mario PREM (Lehrling)

Universitätslektoren:

Ao.Univ.Prof.Dr.phil. Johann GÖTSCHL  
Tit.Ao.Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.techn.Jürgen GERHOLD  
Dr.phil.Martin HEYN  
Dr.phil.Klaus SCHÖPF

Institutsstruktur:

Abteilung für Mathematische Physik und Elektrodynamik (Leiter: Prof.Dr.B.Schnizer)  
Abteilung für Energiephysik (Leiter: Prof.Dr.M.Heindler)  
Abteilung für Strahlenphysik (Leiter: Prof.Dr.Hj.Müller)

## FACHBEREICH: ELEKTRODYNAMIK

### WELLENAUSBREITUNG IN ISOTROPEN UND ANISOTROPEN MEDIEN

E.LEDINEGG, F.SCHÜRRER

Die Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der klassischen Elektrodynamik betreffen die Wellenausbreitung in der Ionosphäre, Streuvorgänge an konvexen Körpern und die Stromverteilung auf Antennensystemen. Ebenso werden stochastische Vorgänge in anisotropen Medien behandelt.

Das Unterfangen der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen, den geostationären Satelliten MARISAT I in die Informationsübertragung zur Antarktisforschungsstation BELGRANO II einzuschalten, ergab interessante, jedoch zunächst nicht deutbare, experimentelle Ergebnisse. Messungen der Bodenfeldstärke wiesen im periodischen Wechsel stochastische Amplitudenschwankungen und dazwischenliegende sogenannte "flat regions" auf. Eine Klärung dieses Phänomens konnte durch die theoretische Analyse des Transfers der vom Satelliten abgestrahlten Trägerwelle durch die anisotrope Ionosphäre erzielt werden. In einem idealisierten Dreischichtenmodell wurde zuerst ohne Berücksichtigung stochastischer Ionosphärenstörungen das Bodenfeld mittels einer Felddarstellung nach Arbel und Felsen bestimmt und in einem weiteren Schritt auch unter Einbeziehung von Ionosphärenfluktuationen. Das stochastische Verhalten der Ionosphäre, das auf der Grundlage einer Mehrfachstreutheorie nach Uscinski erfaßt wurde, führt zu einem zusätzlichen Dämpfungseffekt. Im Verein mit der Annahme von "Ionosphärenlöchern", die mit dem Sonnenstand korreliert sind, wird das im 12-Stundenrhythmus wechselnde Verhalten der Bodenfeldamplitude verständlich.

Systeme mit Verwendung passiver Antennen besitzen im Radiowellenbereich als Richtstrahler große Bedeutung, wobei hier hauptsächlich parallele Anordnungen benützt werden. "Schiefe" Antennen erzeugen ähnlich wie "geknickte" Linearantennen eine zusätzliche Richtwirkung, welche entweder beabsichtigt, oder als Störung zu berücksichtigen ist. Im Bereich sehr langer Wellen werden zur Erzielung bestimmter Richtwirkungen sich kreuzende Antennen verwendet. Wir betrachteten ein System von zwei Zylinderantennen, das aus einer aktiven und einer dazu windschief angeordneten passiven Zylinderantenne von unbegrenzter Länge besteht. Das elektromagnetische Feld der aktiven Antenne im homogenen Raum ist an sich wohlbekannt (J.A.Stratton, S.A.Schelkunoff) und wurde als eingepprägtes Feld zur Berechnung der Stromverteilung der passiven Antenne benutzt. Der passive Antennenstrom zerfällt in zwei Anteile: Den eingepprägten Strom, der ohne Berücksichtigung des Streufeldes entsteht und den induzierten Strom, welcher das Streufeld der passiven Antenne erzeugt. Während der eingepprägte Strom durch das magnetische Umlaufintegral explizit gegeben ist, erforderte die Berechnung des induzierten Stromes die Auflösung einer Integralgleichung vom Faltungstyp. Die sich mittels Fouriertransformation ergebende Integraldarstellung des Stromes konnte durch eine Entwicklung nach Hermitepolynomen in ein System von Partialströmen wesentlich vereinfacht werden. Die Partialströme, in welche die geometrischen und physikalischen Parameter des Antennensystems eingehen, sind einer einfachen numerischen Auswertung zugänglich. Korrekturen zur endlichen Antennenlänge lassen sich nach der Methode von Jung Ming Chen und Keller durch Einführung geeigneter Reflexionskoeffizienten durchführen. Die praktische Anwendung der erzielten Ergebnisse liegt in der Berechnung der Strahlungscharakteristiken der erwähnten Antennensysteme.

#### PUBLIKATIONEN

- E.Ledinegg: "Zur Darstellung des elektromagnetischen Feldes eines beliebig geformten Streukörpers mittels Debyescher Potentiale", AEU 40, Nr.2, 92-93 (1986)
- E.Ledinegg, F.Schürer, G.Kügerl: "Die zylindrische Reflektorantenne in windschiefer Position", AEU 42, Nr.3, 169-177 (1988)

- E.Ledinegg, F.Schürerer, B.Schnizer: "Stromverteilung auf gekreuzten Zylinderantennen", Kleinheubacher Berichte 31, 389-397 (1988)
- E.Ledinegg, F.Schürerer: "Das Bodenfeld einer beliebig orientierten Antenne eines geostationären Satelliten mit Berücksichtigung einer stochastischen anisotropen Ionosphäre in polaren Bereichen", Kleinheubacher Berichte 31, 377-387 (1988)
- E.Ledinegg, F.Schürerer: "The Ground Field of Arbitrarily Shaped Linear Antennas of Geostationary Satellites in Polar Regions Taking into Account a Stochastic and Anisotropic Ionosphere", im Druck bei IEEE, Transactions on Antennas and Propagation

#### VORTRÄGE

- E.Ledinegg, F.Schürerer, B.Schnizer: "Stromverteilung auf gekreuzten Zylinderantennen", Kleinheubacher Tagung 1987, U.R.S.I.-Landesausschuß in der BRD, Kleinheubach 5.-9.10.1987
- E.Ledinegg, F.Schürerer: "Das Bodenfeld einer beliebig orientierten Antenne eines geostationären Satelliten mit Berücksichtigung einer stochastischen anisotropen Ionosphäre in polaren Bereichen", Kleinheubacher Tagung 1987, U.R.S.I.-Landesausschuß in der BRD, Kleinheubach 5.-9.10.1987

#### FACHBEREICH: ALLGEMEINE RELATIVITÄTSTHEORIE

#### DIE ROSETTENBAHNEN IN DER SPEZIELLEN, DER VIERDIMENSIONALEN ALLGEMEINEN UND DER PROJEKTIVEN RELATIVITÄTSTHEORIE

E.LEDINEGG, A.SCHÖNFELDER

In der Diplomarbeit von A.Schönfelder werden im Rahmen der Speziellen sowie der Allgemeinen Relativitätstheorie bzw. der fünfdimensionalen, projektiven Relativitätstheorie Bewegungsvorgänge bei Einkörperproblemen analytisch verfolgt und insbesondere Geschwindigkeits- und Masseneffekte bei Vorliegen einer Schwarzschild-Metrik bzw. der Heckmann-Metrik verglichen.

#### LAUFENDE DIPLOMARBEIT

A.Schönfelder: "Die Rosettenbahnen in der Speziellen, der vierdimensionalen Allgemeinen und der projektiven Relativitätstheorie"

## FACHBEREICH: ELEKTRODYNAMIK

### ELEKTROMAGNETISCHE WELLENAUSBREITUNG IN GESCHICHTETEN MEDIEN

W.PAPOUSEK

Ausgehend von der Darstellung elektromagnetischer Felder durch Superposition von ebenen Wellen, wird eine neue, einfache und elegante Methode zur Berechnung von Fernfeldern von beliebigen Strahlungsquellen in geschichteten Medien entwickelt. Die Methode besteht im wesentlichen darin, daß die Sattelpunktmethode in einer speziellen Weise angewendet wird und, daß passende Deformationen der Integrationswege in den Integraldarstellungen der Felder durchgeführt werden. Durch eine entsprechende Aufteilung der Integranden in den Integraldarstellungen in zwei Faktoren erhält man asymptotische Resultate, in denen das Fernfeld einer beliebigen Strahlungsquelle im geschichteten Medium durch Felder der Quelle im homogenen Raum ausgedrückt werden kann. Besitzen die Integranden Pole erster Ordnung, so sind in bekannter Weise die entsprechenden Residuen zu berücksichtigen. Diese neue Methode wird auf spezielle Strahlungsquellen (elektrischer und magnetischer Dipol) in zweifach geschichteten und dreifach geschichteten Medien angewandt. Die Ergebnisse sind in bester Übereinstimmung mit bekannten asymptotischen Entwicklungen anderer Autoren.

### STETIGKEITSBEDINGUNGEN IN DER MAXWELL'SCHEN ELEKTRODYNAMIK

W.PAPOUSEK

Die Anwendung der Stetigkeitsbedingungen für die Tangentialkomponenten des elektrischen und magnetischen Feldes  $\vec{E}, \vec{H}$  sowie für die Normalkomponenten der elektrischen und magnetischen Verschiebungsstromdichte  $\vec{D}, \vec{B}$  auf einfache Probleme (z.B. Reflexion und Brechung ebener Wellen durch mehrfach geschichtete Dielektrika) führt zu einer aufwendigen und ermüdenden Algebra, im Gegensatz zur Einfachheit des physikalischen Problems. Die getrennte Behandlung von unterschiedlichen Polarisierungen (parallel und normal zur Einfallsebene) erfordert zwei langwierige, getrennte Rechnungen.

Man kann nun zeigen, daß sich aus den Stetigkeitsbedingungen für die Tangentialkomponenten von  $\vec{E}$  und  $\vec{H}$  weitere Stetigkeitsbedingungen ableiten lassen, in denen nur die Normalableitungen (normal zur Trennfläche zwischen zwei verschiedenen Medien) der Normalkomponenten von  $\vec{E}$  und  $\vec{H}$  auftreten. Diese neuen Stetigkeitsbedingungen liefern zusammen mit den Stetigkeitsbedingungen für die Normalkomponenten von  $\vec{D}$  und  $\vec{B}$  ein einfaches Verfahren zur Berechnung der Feldkomponenten in den einzelnen Schichten eines geschichteten Mediums. Die Reflexion und Brechung ebener Wellen durch mehrfach geschichtete Medien kann mit Hilfe dieses neuen Verfahrens durch eine einfache, dem Problem angepasste Algebra beschrieben werden. Eine getrennte Behandlung von unterschiedlichen Polarisierungen (parallel und senkrecht zur Einfallsebene) ist nicht notwendig. Der Vorteil des neuen Verfahrens wird umso deutlicher, je komplexer das zu untersuchende Problem ist.

Diese neue Methode kann auch verallgemeinert werden für die Beschreibung und für die Theorie

der sogenannten Übergangsstrahlung (Durchgang eines geladenen Teilchens durch die Trennebene zwischen zwei verschiedenen Medien).

PUBLIKATIONEN

W.Papousek: "Far-field approximations of general sources in layered media", (in Vorbereitung)

W.Papousek: "Boundary conditions in Maxwell's Theory", (in Vorbereitung)

## FACHBEREICH: ELEKTRODYNAMIK

### FELDER UND LADUNGSVERTEILUNGEN IN ZÄHLROHREN QUADRATISCHEN QUERSCHNITTS

B. SCHNIZER

Quadratische Zählrohre mit kreisförmigem Innenleiter gewinnen in der Experimentellen Teilchenphysik immer mehr an Bedeutung. Solche Rohre werden in einem der 4 Großdetektoren am LEP bei CERN, DELPHI-Experiment, sowohl im Sandwichkalorimeter als auch in Form einer Driftröhrenmatrix als Spurendetektor in der Vorwärtsrichtung verwendet; in beiden Fällen werden sie im "limited streamer mode" betrieben. Der quadratische Außenquerschnitt erlaubt eine flexible, baukastenartige Anordnung mit minimalen toten Zonen. Die Lösung des Randwertproblems ohne Ladung im Raum zwischen den Elektroden ermöglicht eine schnelle Berechnung des Hochspannungsfeldes und damit der "Isochronen". Die auf der Kathode (= Außenwand) induzierte Ladung ist von immer größerer Bedeutung zur Auslese von Kathodenstreifen zur Unterstützung der Spurenerkennung sowie zur Bestimmung der zweiten Koordinate; zur Messung der Ladung über die auf Erdpotential liegende Kathode.

Für genauere Untersuchungen ist die Kenntnis der Ortsabhängigkeit der auf der Kathode induzierten Ladung erforderlich. Dazu werden die Greensche Funktion, das Potential und die Ladungsverteilung für ein Zählrohr mit quadratischem Querschnitt mit kreisförmigem Innenleiter in zweidimensionaler Geometrie berechnet. Zuerst wird die Greensche Funktion für ein koaxiales Zählrohr mit vollständiger Symmetrie angegeben. Anschließend wird dieses Rohr auf eines von quadratischem Querschnitt durch konforme Abbildung abgebildet; der Innenleiter ist in beiden Fällen kreisförmig, wenn er dünn ist. Durch diese Abbildung erhält man die Greensche Funktion für den quadratischen Zähler in indirekter Weise. Diese wird benützt, um die Ladung auf einem Streifen des quadratischen Außenleiters zu bestimmen.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

Institut für Hochenergiephysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien

#### PUBLIKATION

B. Schnizer, M. Regler, Ch. Erd: "Die Greensche Funktion für ein quadratisches Zählrohr mit kreisförmigem Innenleiter"; erscheint in Kleinheubacher Berichte 32 (1989)

#### POSTERPRÄSENTATIONEN

Ch. Erd, G. Leder, M. Pernicka, M. Regler, B. Schnizer: Messung des Streamer-Pulses in einer Röhre mit quadratischem Querschnitt; Tagung des Fachausschusses Kern- und Teilchenphysik der ÖPG, Großrußbach, 26.-27.09.1988 und Jahrestagung 1988 der ÖPG, Wien, 26.-30.09.1988 (Preis bei Posterprämierung am 29.09.)

B. Schnizer, M. Regler, Ch. Erd: Die Greensche Funktion für ein quadratisches Zählrohr mit kreisförmigem Innenleiter; Gemeinsame Tagung des U.R.S.I. Landesausschusses der BRD und der ITG-Fachausschüsse, Kleinheubach, BRD, 03.-07.10.1988

## FACHBEREICH: ELEKTRODYNAMIK

### UNTERSUCHUNGEN ZUR THEORIE DER MAGNETSEPARATOREN

B.SCHNIZER, K.LILEG

In Magnetseparatoren bewegen sich die paramagnetischen (oder ferromagnetischen) Teilchen durch ein stark inhomogenes Magnetfeld. Dieses induziert ein Dipolmoment, an dem die Feldinhomogenität angreift. Teilchen verschiedener Materialien haben unterschiedliche Permeabilität, erhalten daher (bei gleichem Volumen) unterschiedliche Dipolmomente und erfahren daher unterschiedliche Ablenkkräfte. Dieses Verfahren wird erfolgreich zur Trennung ferromagnetischer Teilchen von nichtferromagnetischen verwendet. Man möchte den Anwendungsbereich erweitern zur Separation paramagnetischer Teilchen; hier sind die Unterschiede der magnetischen Suszeptibilitäten, damit die der Dipolmomente, viel geringer. Zu diesem Problem hat K.Lileg in seiner Diplomarbeit einige Grundlagenfragen behandelt. Zuerst wurde der Einfluß der Gestalt eines Teilchens auf die Magnetisierung (damit auf das Dipolmoment) und das mechanische Drehmoment untersucht. Die Gestalt des Teilchens wurde durch ein dreiaxiales Ellipsoid approximiert. Die Untersuchung ergab, daß wegen der Kleinheit der paramagnetischen Suszeptibilitäten der Einfluß der Teilchengestalt gering ist und diese mit ausreichender Genauigkeit durch eine Kugel dargestellt werden kann. Danach wurde die Wechselwirkung zweier paramagnetischer Kugeln in einem inhomogenen Magnetfeld untersucht und mit dem Verhalten punktförmiger Dipole verglichen. Es wurde die Kraft auf eine paramagnetische Kugel bei Anwesenheit einer weiteren Kugel berechnet. Diese sehr komplizierten Berechnungen waren nur möglich, weil aus atomspektroskopischen Berechnungen große Erfahrung mit Kugelfunktionen und deren Additionstheoremen vorhanden war. Die numerische Auswertung der Formeln ergab nur geringe Unterschiede gegenüber der Näherung, bei der das Dipolmoment als punktförmig im Zentrum der Kugel konzentriert ist. Beide Resultate liefern somit eine quantitative Rechtfertigung von Näherungen, die bei der Behandlung von Magnetseparatoren eingesetzt werden.

Weiters werden allgemeine Fragen der Darstellung von statischen Magnetfeldern und deren Eigenschaften mit verschiedenen Mitarbeitern der Anstalt für Tieftemperaturforschung erörtert.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

Anstalt für Tieftemperaturforschung, Graz (Tit.a.o.Prof.Dr.J.Gerhold)  
ELIN UNION, Wien

#### PUBLIKATIONEN

- K.Lileg, B.Schnizer: "Influence of particle shape on forces in magnetic separators", eingereicht bei IEEE Trans. on Magnetics  
K.Lileg, B.Schnizer: "Separation force on a paramagnetic particle surrounded by other paramagnetic particles", in Vorbereitung.

#### ABGESCHLOSSENE DIPLOMARBEIT

K.Lileg: "Kräfte auf permeable Teilchen in inhomogenen Magnetfeldern unter Berücksichtigung der Wechselwirkung"

## FACHBEREICH: ELEKTRODYNAMIK

### MIKROWELLENPHYSIK UND ANTENNENTHEORIE

B.SCHNIZER, M.ZINK, K.LILEG

Für die Anwendung als Empfangsantenne im Primärfokus eines Radioteleskops werden die Eigenschaften einer Torusantenne vor einer leitenden kreisförmigen Platte untersucht. Messungen wurden von R.Wohlleben im Antennenlabor des MPI für Radioastronomie durchgeführt. Die Eigenschaften einer solchen Antenne hängen sehr stark von der Anspeisung ab. Sie erfolgt durch ein Koaxialkabel, dessen Mantel mit der Grundplatte verbunden ist. Endet der Innenleiter in einem kleinen Plättchen, das mit dem Torus einen Kondensator mit engem Spalt bildet (kapazitive Ankopplung), emittiert die Antenne linear polarisierte Wellen. Erfolgt die Kopplung mit einer Brücke in Form eines Viertel- bzw. Dreitelkreises, die parallel zu Grundplatte und Torus ist und deren Enden in Koaxialleitern enden (Bogod-Schleife), kann die Strahlung zirkular polarisiert sein.

Es soll eine theoretische Beschreibung dieser komplexen Anordnung entwickelt werden. Analytisch lösbare Modelle waren nur für unrealistische Anregungsmodelle (Querschlitze im Torus) möglich und lieferten keine befriedigenden Resultate (Schnizer und Pascher). Es war daher nötig, auf numerische Lösungsverfahren überzugehen. Dies wurde von M.Zink im Rahmen seiner Diplomarbeit durchgeführt; diese mußte er in der DFVLR Oberpfaffenhofen durchführen, da nur dort eine geeignete Rechenanlage (CRAY) und entsprechende Software vorhanden sind. Es wurde das Programmpaket NEC-2 (Numerical Electromagnetics Code) benützt. Dieser basiert auf der Integralgleichungsmethode; in dieser werden Integralgleichungen für die Oberflächenströme auf den leitenden Flächen oder Drähten benutzt, die von einem gegebenen Anregungsfeld induziert werden. Die Ströme werden nach glatten Basisfunktionen entwickelt. Hier wurden die leitenden Körper durch Drahtgitter modelliert und nur Ströme auf der Drahtachse zugelassen. Die Gleichungen für die physikalische Randbedingung, daß die Tangentialkomponenten des elektrischen Feldes längs des Metalls verschwinden müssen, werden mit Testfunktionen überschoben. Diese beiden Vorgänge führen die Integralgleichungen in ein lineares Gleichungssystem für die Stromamplituden über. Die Elemente der Koeffizientenmatrix desselben (Impedanzmatrix) bestehen daher aus dem Greenschen Tensor des elektromagnetischen Feldes, überschoben mit den Basis- und Testfunktionen. In NEC sind die Testfunktionen Deltafunktionen, d.h. die Randbedingung wird nur an einem Punkt jedes Drahtelements erfüllt (point matching). Es werden noch weitere Näherungen bei der Berechnung der Elemente der Impedanzmatrix vorgenommen, ebenso bei der Darstellung des Anregungsfeldes, das von der Anspeisung erzeugt wird. Zum Test des Verfahrens wurden zuerst ein Dipol im freien Raum und ein Monopol über einer kreisrunden Platte behandelt. Es wurde untersucht, wie sich die Eingangsimpedanz und die Stromverteilungen bei Verfeinerung der Elemente verhalten. Es ergab sich keine Konvergenz und die Stromverteilungen wiesen unphysikalische Effekte auf. Diese werden vermutlich durch die oben angesprochenen Näherungen verursacht. Gute Übereinstimmung zwischen theoretischen und experimentellen Resultaten ergeben sich für das Fernfeld eines Torus mit kapazitiver Anregung über einer kreisrunden leitenden Platte. Der Forschungsbericht darüber wurde bereits von der ESA ins Englische übersetzt.

Wegen der erwähnten Schwierigkeiten wurde von Zink und Schnizer ein Forschungsvorschlag erarbeitet, der eine Verbesserung der Integralgleichungsmethode und deren Überprüfung an einfachen Antennen (Dipol im freien Raum, Monopol über leitender Platte) vorsieht. Dieser wurde vom FWF binnen eines Vierteljahres genehmigt. Da M.Zink inzwischen eine Stelle an der DFVLR angenommen hatte, hat K.Lileg im Rahmen seiner Dissertation die Durchführung dieser Arbeiten übernommen. Die Integralgleichungsmethode wird insofern abgeändert, daß für die Testfunktionen die selben glatten Funktionen wie für die Basisfunktionen eingesetzt werden (Galerkinverfahren).

Für die Berechnung der Elemente der Impedanzmatrix sind jetzt vier Integrationen (statt zwei) durchzuführen. Von diesen wurde ein Großteil für einfache Konfigurationen der Drahtelemente analytisch ausgeführt, so daß zu hoffen ist, daß die Berechnung der Impedanzmatrix die Rechenzeit nicht exzessiv beanspruchen wird.

In Zusammenhang mit diesen Fragestellungen werden auch Fragen über Darstellungen der Greenschen Tensoren des elektromagnetischen Feldes untersucht.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

Institut für Hochfrequenztechnik, Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR), Oberpfaffenhofen b. München (A.Schroth, V.Stein, E.Kemptner, M.Zink)  
Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Technische Hochschule Darmstadt (G.Piefke)  
Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, Fernuniversität Hagen, BRD, (R.Pregla, W.Pascher)  
Antennenlabor, Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn

#### PROJEKT

Verbesserte Integralgleichungsmethode zur numerischen Antennenberechnung (Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung, Wien)

#### PUBLIKATIONEN

- B.Schnizer, W.Pascher: "Theoretical and experimental investigation of a torus as a primary feed in reflector antenna", Kleinheubacher Berichte 30, 483 (1987)  
B.Schnizer: "Solutions of the Vector Helmholtz equation and Green's Tensors of the Electro-magnetic Field", Kleinheubacher Berichte 31, 509 (1988)  
M.Zink: "Anwendung der Integralgleichungsmethode zur Berechnung charakteristischer Strahlungseigenschaften von Antennen", Kleinheubacher Berichte 31, 399 (1988)  
M.Zink: "Bestimmung charakteristischer Strahlungseigenschaften einer Torusanterenne", Forschungsbericht DFVLR 87-46 (Engl.Übers. ESA-TT-1106)  
M.Zink: "Torus antenna above circular conducting disc, computed by the integral equation method", erscheint in AEU (1989)

#### ABGESCHLOSSENE DIPLOMARBEIT

M.Zink: "Bestimmung charakteristischer Strahlungseigenschaften einer Torusanterenne"

#### LAUFENDE DISSERTATION

K.Lilieg: "Verbesserung der Integralgleichungsmethode zur Antennenberechnung" (Arbeitstitel)

#### VORTRÄGE

- B.Schnizer: Lösungen der Vektorwellengleichung und Greensche Tensoren des elektromagnetischen Feldes  
M.Zink: Anwendung der Integralgleichungsmethode zur Berechnung charakteristischer Strahlungseigenschaften von Antennen  
Beide: Tagung des U.R.S.I.-Landesausschusses der BRD und der NTG-Fachausschüsse, Kleinheubach, 05.-09.10.1988  
M.Zink (und B.Schnizer): Theoretische, numerische und experimentelle Untersuchungen der Eigenschaften einer Torusanterenne über einer leitenden Platte; Kolloquium im Fachbereich Theoretische Elektrotechnik, T.H. Darmstadt; Gastvortrag MPI-Radioastronomie, Bonn; Kolloquium Fernuniversität Hagen, Fachbereich Theoretische Elektrotechnik  
B.Schnizer: Lösungssysteme der Vektorwellengleichung, der Maxwell'schen Gleichungen und Greensche Tensoren; Seminar, Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik, T.H. Darmstadt  
B.Schnizer: Symbolisches Rechnen mit LISP REDUCE; Kolloquium Fernuniversität Hagen, Fachbereich Theoretische Elektrotechnik

#### GASTVORTRÄGE

- G.Piefke: "Besondere Bauelemente aus Leitungsstrukturen", 22.10.1986  
G.Piefke: "Streuprobleme bei dielektrischen Leitungsstrukturen mit Verlusten", 23.10.1986

## FACHBEREICH: THEORETISCHE ATOMSPEKTROSKOPIE

### BERECHNUNG DES STARKEFFEKTS BEI EDELGASEN

R.ZIEGELBECKER, B.SCHNIZER

Bei diesem Arbeitsgebiet handelt es sich um ein Gemeinschaftsprojekt zwischen dem Institut für Theoretische Physik und dem Institut für Experimentalphysik, für welches die Ergebnisse unmittelbare praktische Bedeutung haben: Dort wurden die Aufspaltungen mehrerer Edelgasspektren im elektrischen Feld ("Starkeffekt") in einzelne, aber auch in ganze "Büschel" von Stark-Komponenten mit dem Spektrographen aufgenommen und daraus die Lage zahlreicher atomarer Energieniveaus in Abhängigkeit von der elektrischen Feldstärke ermittelt. Diese Daten enthüllen jedoch fast nichts, was einem echten Verständnis der beobachteten Phänomene dienlich wäre. Es fehlten Hinweise, welche der theoretischen möglichen Komponenten im Experiment stark, schwach oder gar nicht sichtbar sind, welche davon entartet oder praktisch entartet sind, wodurch sie charakterisiert, und vor allem, wie sie benannt werden können.

In der Dissertation von R.Ziegelbecker war hierfür eine Lösung vorgeschlagen worden, die es nach einer Berechnung der Starkeffekt-Aufspaltung und der Starkeffekt-Wellenfunktionen in einer anschaulichen Basis  $(n, l, m_l)$  gestattet, die einzelnen Stark-Wellenfunktionen in weiten Feldstärkebereichen durch verallgemeinerte bzw. magnetische Quantenzahlen zu bezeichnen. Die Theorie zu dieser Vorgangsweise fand in einem Artikel und in 2 Vorträgen auf internationalen Tagungen ihren Niederschlag. Die mit dieser Methode den Neon-Stark-Komponenten tatsächlich zugeordneten Bezeichnungen werden demnächst publiziert werden.

Da diese Benennungen auf der Annahme reiner  $jl$ -Kopplung im ungestörten Atom beruhen und auch Edelgasatome, bei denen die  $jl$ -Kopplung nicht so gut wie bei Neon zutrifft, bearbeitet werden sollen, konzentrierten sich die weiteren Untersuchungen auf die Ausarbeitung genauer Wellenfunktionen mit Hilfe der Quantendefekttheorie. Bisher sind dabei Programme zur Berechnung der Quantendefekte und zur graphischen Darstellung der Quantendefektanalyse (Lu-Fano-Plots) ausgearbeitet worden, während sich jene für die Quantendefektwellenfunktionen und die daraus folgenden Übergangswahrscheinlichkeiten im Teststadium befinden.

#### PUBLIKATION

R.Ziegelbecker, B.Schnizer: "Calculation of the Stark Effect of Neon I using  $jl$ -coupled wave functions", Z.f.Physik D6, 327-335 (1987)

#### TAGUNGSVORTRÄGE

R.Ch.Ziegelbecker, B.Schnizer, L.Windholz, H.Jäger: Noble Gas Atoms in Strong Electric Fields; 19th EGAS (European Group for Atomic Spectroscopy), Dublin, 14-17 July 1987

R.Ch.Ziegelbecker, L.Windholz: Noble Gas Atoms in Strong DC Electric Fields; 2nd ASCEF'87 (Atomic Spectra and Collisions in External Fields), Egham, Surrey, England, July 30-31, 1987

#### POSTERPRÄSENTATION

R.Ch.Ziegelbecker, B.Schnizer, L.Windholz: Quantendefekttheoretische Wellenfunktionen; ÖPG-Jahrestagung 1987, Graz, 21.-25.09.1987

B.Schnizer, R.Ziegelbecker: Group Theoretical Labelling of Ne I-Energy Levels in  $jl$ -Coupling; Symposium "Symmetries in Science III", Landesbildungszentrum Schloß Hofen, 25.-28.07.1988

#### GASTVORTRAG

F.Sanders: "Resonance States in Atoms. Theoretical and Computational Aspects"; 20.07.1988

## FACHBEREICH: MATHEMATISCHE PHYSIK

### UNTERSUCHUNGEN ZUR BERRY-PHASE

W.BULLA, P.FALKENSTEINER, H.GROSSE

Ein Hamiltonoperator  $H(q)$  hänge in genügend glatter Weise vom Punkte  $q \in M$  einer Mannigfaltigkeit  $M$  ab. Es wird vorausgesetzt, daß es einen fast nirgends auf  $M$  entarteten, isolierten Eigenwert  $E(q)$  der Gleichung  $H(q)f(q) = E(q).f(q)$  gäbe. Die den Punkten  $q$  zugeordneten eindimensionalen Eigenräume bilden über  $M$  ein komplexes Geradenbündel. Gibt man eine Kurve  $q(t)$  auf  $M$  vor und betrachtet  $t$  als Zeitveränderliche, so erhält man ein zeitabhängiges Problem für die Operatorschar  $H(q(t))$ . M.Berry hat entdeckt, daß eine Behandlung dieses Problems in adiabatischer Näherung neben dem bekannten "dynamischen" Phasenfaktor bei topologisch nichttrivialem  $M$  auch noch einen zusätzlichen "geometrischen" Phasenfaktor liefern kann, der nach B.Simon das Integral einer natürlich auf dem Geradenbündel gegebenen Zusammenhangsform über die betrachtete Kurve ist. Für geschlossene Kurven  $C$  ist dies gleich dem Integral der zugehörigen Krümmungsform über eine in  $M$  liegende Fläche, die  $C$  als Rand hat.

Diese Ergebnisse wurden auf ein lösbares quantenmechanisches Modell angewandt, und zwar auf den über einem beschränkten Intervall definierten Diracoperator. Der für Dirichlet-Randbedingungen definierte, abgeschlossene und symmetrische Operator  $H_0$  hat den Defektindex  $(2,2)$ , weswegen nach der v.Neumannschen Fortsetzungstheorie alle selbstadjungierten Fortsetzungen von  $H_0$  über die Randbedingungen durch die Gruppe  $U(2)$  parametrisiert sind, die hier die Rolle von  $M$  spielt. Die Kenntnis der schon früher von Falkensteiner/Grosse für alle Fortsetzungen ermittelten Eigenvektoren und jene des Zusammenhangs zwischen den Eigenwerten des Operators  $H_V$  und denen von  $V$  selbst,  $V \in U(2)$ , ermöglichte die Bestimmung des Zusammenhangs und der Krümmungsform in geeigneten, die Bedingung der Nichtentartung respektierenden Karten.

Der Sachverhalt, daß das halbdirekte Produkt  $U(2) = U(1) \rtimes SU(2)$  ein  $S^1$ -Bündel über  $S^3=SU(2)$  ist, führt bei Durchlaufen auf einem geeigneten Torus gelegener geschlossener Wege beim Überschreiten von Entartungskurven zu einem schrittweisen Springen in Eigenräume höherer Nummer von  $H_V$ . Diese auf die Nichttrivialität der Fundamentalgruppe von  $U(2)$  und den erwähnten besonderen Zusammenhang zwischen den Eigenwerten von  $H_V$  und  $V$  zurückzuführende Erscheinung verdient noch eine weitere Untersuchung.

#### VERÖFFENTLICHUNG

Bericht UWThPh 1988-31, im Druck bei Phys.Lett.B

## FACHBEREICH: MATHEMATISCHE PHYSIK

### UNTERSUCHUNGEN ZUR EINDIMENSIONALEN DIRACGLEICHUNG

#### A) NICHTRELATIVISTISCHER LIMES VON DIESER GLEICHUNG ZUGEORDNETEN GRÖSSEN

W.BULLA, K.UNTERKOFLER

Die Diracgleichung ist eine Gleichung zur quantenmechanischen Beschreibung von Teilchen, die mit Berücksichtigung der speziellen Relativitätstheorie, insbesondere also auch der Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit  $c$ , aufgestellt wurde und daher  $c$  als Parameter enthält. Aus der Betrachtung spezieller exakt gelöster Probleme, wie z.B. des Coulomb-Problems, leitet man die allgemeine Erwartung ab, daß im nichtrelativistischen Limes  $c \rightarrow \infty$  der Diracgleichung zugeordnete Meßwerte in der Pauli- bzw. Schrödingergleichung zugehörige übergehen sollten.

Eine schon früher von Foldy/Wouthuysen angegebene formale Entwicklung des Diracoperators nach  $1/c$  liefert zwar richtige Korrekturterme zu nichtrelativistischen Werten aus dem Spektrum des Operators, die Entwicklung des Operators selbst ist in dieser Form jedoch mathematisch unhaltbar, da der Term nullter Ordnung in  $1/c$  in einem gewissen Sinne klein gegen die Korrekturterme ist, die übrigens auch ein völlig unphysikalisches Spektrum haben.

Der zur Beschreibung der Konvergenz des Diracoperators gegen den Paulioperator zutreffende Konvergenzbegriff ist nach Gesztesy/Grosse/Thaller die Normkonvergenz der in  $1/c$  holomorphen Resolvente. Auf dieser Idee aufbauend, wurden schon früher die relativistischen Korrekturglieder niedrigster Ordnung für die Kanten jener Bänder im Spektrum des Diracoperators angegeben, die im Falle periodischer Potentiale, wie nachgewiesen werden konnte, ebenso auftreten wie im Schrödinger-Fall. Die diesbezüglichen Ergebnisse wurden abgerundet und in einen weiteren Rahmen gestellt.

Hierauf wurde eine Entwicklung der "on-shell"-Streumatrix der eindimensionalen Diracgleichung in  $1/c^2$  durchgeführt. Dazu wurde benützt, daß die Koeffizienten dieser  $2 \times 2$ -Matrix als Wronskideterminanten der Jostlösungen darstellbar sind. Unter der Bedingung eines exponentiellen Abfalls des in elektrostatischer Form eingeführten Potentials wurde die Holomorphie der Jostlösungen in  $1/c$  nachgewiesen, aus der nach Anwendung einer Ähnlichkeitstransformation die Holomorphie der Streumatrix in  $1/c^2$  folgt. Zur Entwicklung ihrer Elemente, der Transmissions- und Reflexionskoeffizienten, wurden die entsprechenden Wronskideterminanten in die Form geeigneter Skalarprodukte umgewandelt. Eine Übertragung dieses Ergebnisses auf die Teilwellen-S-Matrixelemente sowie die zugehörigen Streuamplituden und Streuphasen der dreidimensionalen Situation ist in Ausarbeitung begriffen.

#### B) DER DIRACOPERATOR AUF VERZWEIGTEN EINDIMENSIONALEN GEBILDEN

W.BULLA, T.TRENKLER

Die Quantenmechanik niedrigdimensionaler Gebilde, zum Teil veränderlicher Dimension, wurde in Schrödingerfassung schon ausführlicher untersucht. Diese Gebilde dienen als Modelle für Strukturen mit Abmessungen im molekularen Bereich. Da ein gängiges Modell für den Leitungsmechanismus in konjugierten Polymeren eine eindimensionale Diracgleichung verwendet, bietet sich zur Beschreibung verzweigter derartiger Moleküle eine Diracgleichung auf entsprechenden eindimensionalen Gebilden an.

Die einzelnen Gebilde sind aus beschränkten Intervallen und Halbgeraden verschiedener Zahl und in unterschiedlicher Geometrie zusammengesetzt, Abweichungen in den Feinheiten des Ladungsträgerübergangs werden durch verschiedene Übergangsbedingungen für die Wellenfunktionen zwischen diesen Elementen des Gebildes wiedergegeben. Aus der Forderung, daß der Diracoperator des gesamten Gebildes selbstadjungiert sein muß, ergeben sich Einschränkungen für die zulässigen Übergangsbedingungen, die durch die v. Neumannsche Fortsetzungstheorie symmetrischer abgeschlossener Operatoren in Anwendung auf Differentialoperatoren erfaßt werden können. Nach einer allgemeinen Beschreibung der zulässigen Übergangsbedingungen wurden für einige einfachere symmetrisch gebaute Gebilde diese Bedingungen spezialisiert und der Weg zur Berechnung der Streudaten so weit beschränkt, als es auf analytische Weise möglich ist. Für einen einfachen Fall, den Übergang zwischen zwei Halbgeraden, wurden die Streudaten unter gewissen Symmetrieanahmen als Funktionen der Parameter der Übergangsbedingung explizit angegeben.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

Prof.Dr.G.Gesztesy, University of Missouri, Columbia, USA

#### VERÖFFENTLICHUNG

W.Bulla/F.Gesztesy/K.Unterkofler: "On relativistic energy band corrections in the presence of periodic potentials", Lett.Math.Phys. 15, 313 (1988)

#### LAUFENDE DIPLOMARBEIT

T.Trenkler: "Untersuchungen des Diracoperators auf verzweigten eindimensionalen Gebilden"

#### LAUFENDE DISSERTATION

K.Unterkofler: "Holomorphie von streutheoretischen Größen der Diractheorie"; Veröffentlichung in Vorbereitung.

#### TEILNAHME AN TAGUNGEN

ÖPG-Tagung, Oktober 1988: Poster: Relativistische Energiebandkorrekturen für periodische Potentiale. (W.Bulla, K.Unterkofler)

#### TEILNAHME AN EINER SOMMERSCHULE

Nordic Summer School in Mathematics 1988: Schrödinger Operators. Sandberg Slot, Dänemark (T.Trenkler, K.Unterkofler)

FACHBEREICH: NICHTLINEARE MECHANIK

THEORIE NICHTLINEARER SCHWINGUNGEN IN ANWENDUNG AUF TEILCHENBAHNBERECHNUNGEN IN BESCHLEUNIGERN

B.SCHNIZER, H.MOSHAMMER, J.HAGEL

Um jene hohen Strahlintensitäten zu erreichen, die Experimente über die Struktur der Elementarteilchen gestatten, werden geladene Teilchen, vor allem Protonen, Elektronen und deren Antiteilchen, auf einer festgelegten Bahn in Speicherringen bis zu Tagen eingeschlossen. Darin werden die Teilchen durch magnetische Dipolfelder geführt, durch Quadrupolfelder fokussiert. Diese, wie auch die nachfolgend angegebenen höheren Feldanteile, sind längs der Bahn räumlich periodisch. Magnetische Quadrupole fokussieren Teilchen mit höherer Energie weniger stark als Teilchen mit niedrigerer Energie. Um diesen chromatischen Fehler zu kompensieren, werden höhere magnetische Multipole eingebaut. Dadurch werden die Bewegungsgleichungen nichtlinear. Solche nichtlinearen Kräfte können die Amplituden der Teilchenbewegung so anheizen, daß diese durch Auftreffen auf die Wand oder andere Begrenzungen verloren gehen. Als Arbeitsbereich der Maschinen bleibt jene Region des Phasenraums, innerhalb welcher die Anfangsbedingungen des Teilchenstrahls liegen müssen, so daß er für das vorgegebene Zeitintervall erhalten bleibt. Dieser Bereich, in der Beschleuniger-Technik als Dynamische Apertur bezeichnet, kann bis heute nur mit Hilfe umfangreicher und lang dauernder Simulationsprogramme angegeben werden. Für ein qualitatives Verständnis sind mittels analytischer oder semianalytischer Methoden erzielte Näherungslösungen sehr nützlich. In seiner Dissertation hat H.Moshammer in Zusammenarbeit mit Dr.Hagel und aufbauend auf dessen Arbeiten weitere Methoden störungstheoretischer Art entwickelt, die quantitative Hinweise für die Bahnstabilität als Funktion der Anfangslage geben. Diese ermöglichen es, mit viel geringerem Aufwand als ihn die Simulationsprogramme erfordern, Aussagen über die Dynamische Apertur zu machen. Damit wurde ein Computerprogramm ("DYNAP") erstellt, das Aussagen über die Dynamische Apertur einer projektierten Maschine liefert. Dieses wurde von CERN bereits an andere Beschleunigerzentren weitergegeben.

PUBLIKATIONEN

- J.Hagel, H.Moshammer: "Analytic approach of Dynamical Aperture by secular perturbation theory", Proc. 2nd Advanced ICFA Dynamics Workshop, 11-16 April, 1988, Lugano; Ed. J.Hagel, E.Keil, CERN 88-04, Geneva, Switzerland, pp. 42-51
- J.Hagel, H.Moshammer: "Analytic Calculation of the Dynamical Aperture for the two dimensional motion in storage rings", Proc. 1st European Particle Accelerator Conference, 7-11 June, 1988, Rome, Italy
- H.Moshammer, J.Hagel: "Analytic approach of Dynamic Aperture by Secular Perturbation Theory", eingereicht bei ZAMP

ZUSAMMENARBEIT MIT:

Theory Group, LEP Division, CERN, Genf (E.Keil, G.Guignard, J.Hagel), Reise- und Aufenthaltsstipendien an H.Moshammer.

ABGESCHLOSSENE DISSERTATION

H.Moshammer: "Analytische Berechnung der Dynamischen Apertur in der nichtlinearen Fokussierungsstruktur von Speicherringen"

LAUFENDE HABILITATION

J.Hagel: "Störungstheorie und Stabilitätsanalyse von nichtlinearen Dynamischen Systemen"

VORTRAG

H.Moshammer: Analytic methods for finding the Dynamic Aperture in storage rings; Seminar, Lep-Division, CERN, Genf, 3.12.1987

GASTVORTRÄGE

E.Keil: "Stabilität von Teilchenbahnen in Teilchenbeschleunigern", 17.03.1988

J.Hagel: "Säkulare Störungstheorie für nichtlineare Oszillatoren und Stabilitätstheorie,  
11.12.1986

POSTERPRÄSENTATION

J.Hagel, H.Moshhammer: Analytic Calculation of the Dynamical Aperture for the two dimensional  
motion in storage rings

TAGUNGSBESUCH

H.Moshhammer: 2nd Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop, 11-16 April 1988, Lugano

## FACHBEREICH: THEORETISCHE FESTKÖRPERPHYSIK

### THEORIE DER SUPRALEITUNG

E.SCHACHINGER, E.E.LANGMANN, W.PINT, M.PROHAMMER, D.TRIEBELNIG

Durch die Entdeckung der neuen Hochtemperatursupraleiter hat die Theorie der Supraleitung an sich wesentliche neue Impulse erhalten. Während der physikalische Mechanismus in Standardmaterialien ausgezeichnet verstanden ist, ist es noch nicht völlig geklärt, ob der Mechanismus der anziehenden Elektron-Elektron Wechselwirkung via Phononen auch für Hochtemperatursupraleiter gültig ist. Daraus ergeben sich zwei Forschungsschwerpunkte:

- (1) Erklärung experimenteller Ergebnisse für Standardmaterialien durch immer realistischere Formulierung der grundlegenden Theorie. So konnte durch Annahme von Anisotropieeffekten das obere kritische Magnetfeld von Niob in seiner Temperatur- und Verunreinigungsabhängigkeit für polykristalline Proben theoretisch vollständig beschrieben werden. Eine qualitativ befriedigende Übereinstimmung mit experimentellen Ergebnissen für das System  $GdLaAl_2$  konnte für das obere kritische Magnetfeld gefunden werden, indem die paramagnetischen Eigenschaften der Gd-Atome in der Theorie berücksichtigt wurden. Weitere Untersuchungen sollen insbesondere den Einfluß der Spin-Bahn Koppelung auf das kritische Magnetfeld klären. Das Verhalten dünner supraleitender Schichten im Magnetfeld ist noch von besonderem Interesse.
- (2) Es soll hier untersucht werden, ob und inwieweit das 'klassische' Bild der Supraleitung auf Hochtemperatursupraleiter übertragbar erscheint. Bisher konnte gezeigt werden, daß zumindest für ein System ( $La_{1.85}Sr_{0.15}CuO_4$ ) das klassische Bild anwendbar ist. Für starke Anisotropie der Fermi-Fläche kann die Theorie alle experimentellen Daten innerhalb der experimentellen Genauigkeit erklären. Nachdem nun experimentell festgestellt wurde, daß die Fermi-Fläche von Hochtemperatursupraleitern Zylindersymmetrie aufweist, soll eine Erweiterung der ECS-Theorie auf diese Symmetrie erarbeitet werden.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

a.o.Univ.-Prof.Dr.H.W.Weber, Atominstitut der Österreichischen Universitäten, Wien  
a.o.Univ.-Prof.Dr.K. Schwarz, Institut für Technische Elektrochemie, T.U. Wien  
Univ.-Doz.Dr.P.Vogl, Institut für Theoretische Physik, Universität Graz  
Prof.Dr.J.P.Carbotte, McMaster University, Hamilton, Ontario, Kanada  
Dr.G.Crabtree, Argonne Nat'l.Laboratory, Argonne, Il., USA  
Prof.Dr.L.E.DeLong, University of Kentucky, Lexington, Ken., USA  
Dr.A.Junod, Universität Genf, Schweiz

#### PUBLIKATIONEN

- F.Marsiglio, M.Schossmann, E.Schachinger und J.P.Carbotte: "Dependence of the Upper Critical Field on the Spectral Density for Arbitrary Impurity Concentrations", Phys.Rev.B 35, 3226 (1987)
- M.Schossmann, E.Schachinger und J.P.Carbotte: "Functional Derivative of  $H_{c2}$  Including Pauli Paramagnetism", Phys.Rev.B 36, 8360 (1987)
- E.Schachinger, W.Stephan and J.P.Carbotte: "Quasiparticle Density of States for a Spin Glass Superconductor", Phys.Rev.B 37, 5003 (1988)
- M.Prohammer und E.Schachinger: "The Upper Critical Field of Superconducting Anisotropic Polycrystals", Phys.Rev.B 36, 8353 (1987)

- M.Schossmann, J.P.Carbotte und E.Schachinger: "On the Maximum Reduced Upper Critical Magnetic Field in Eliashberg Theory", J.Low Temp.Phys.70, 537 (1988)
- M.Prohammer: "Influence of Pauli Paramagnetic Limiting on  $H_{c2}$  of Anisotropic Superconductors", Solid State Commun.67, 293 (1988)
- H.W.Weber und E.Schachinger: " $H_{c2}$ -Anisotropie Effekte in Superconducting Niobium Polycrystals", Helv.Phys.Acta 61, 478 (1988)
- W.Pint, M.Prohammer und E.Schachinger: "Anisotropy Effects in the System La-Sr-Cu-O", Physica C, 153-155, 713 (1988)
- E.Schachinger, M.Prohammer, E.Seidl und H.W.Weber: "Anisotropy Effects in the Upper Critical Field of Niobium: Theory and Experiment", Physica C 153-155, 247 (1988)
- R.Akis, F.Marsiglio, E.Schachinger und J.P.Carbotte: "Upper Band on Strong Coupling Corrections to the Upper Critical Field", Phys.Rev.B 37, 9318 (1988)
- R.Akis, F.Marsiglio, E.Schachinger und J.P.Carbotte: "Optimum Spectra for Superconducting Properties", Physica C 153-155, 227 (1988)

#### ABGESCHLOSSENE DIPLOMARBEITEN

- W.Pint: "Theorie des oberen kritischen Magnetfeldes von Supraleitern mit magnetischen Verunreinigungen"
- D.Triebelnig: "Dünne supraleitende Schichten im externen Magnetfeld"
- E.E.Langmann: "Der Einfluß der Spin-Bahn Wechselwirkung auf das obere kritische Magnetfeld eines Supraleiters"

#### ABGESCHLOSSENE DISSERTATIONEN

- M.Prohammer: "Das obere kritische Magnetfeld anisotroper supraleitender Polykristalle"

#### LAUFENDE DISSERTATIONEN

- W.Pint: "Theorie von Hochtemperatur-Supraleitern"

#### POSTERPRÄSENTATION

- "International Discussion Meeting on High Temperature Superconductors", Mauterndorf, Österreich; 1 Poster
- "High  $T_C$ -Superconductivity and Materials and Mechanisms of Superconductivity", Interlaken, Schweiz; 3 Poster

#### VORTRÄGE

- Festkörperfachabend, T.U. Graz: "Heavy Fermion Supraleiter", "Das obere kritische Magnetfeld supraleitender anisotroper Polykristalle, Vergleich Theorie - Experiment"
- Atominstitut der Österreichischen Universitäten: "Kondo Supraleiter", "Das obere kritische Magnetfeld supraleitender, anisotroper Polykristalle", "Theoretische Analyse experimenteller Daten für das obere kritische Magnetfeld von Hochtemperatursupraleitern"
- Universität Graz: "Konventionelle Theorie der Supraleitung und ihre Relevanz für Hochtemperatursupraleiter"
- Texas A&M University: "Anisotropy Effects in Superconductors"
- Argonne Nat'l.Laboratory: "Anisotropy Effects in Niobium and La-Sr-Cu-O"
- Universität Genf: "Anisotropy Effects in Superconductors"

#### PROJEKTE

- P6067P Das obere kritische Magnetfeld anisotroper Supraleiter
- P7063P Elektronen Theorie von Hochtemperatursupraleitern (mit Prof.Dr.K.Schwarz und Doz.Dr.P.Vogl)

(Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung)

Anisotropie Effekte in technischen Supraleitern (Forschungsfonds des Landes Steiermark)

## FACHBEREICH: TRANSPORTTHEORIE

### MOMENTEMETHODEN ZUR LÖSUNG DER NICHTLINEAREN BOLTZMANNGLEICHUNG

F.SCHÜRRER, G.KÜGERL

Im Forschungsbereich der Transporttheorie rücken zunehmend nichtlineare Problemstellungen in den Vordergrund. Unser Interesse gilt der nichtlinearen Boltzmann-Gleichung, deren Gültigkeitsbereich im wesentlichen durch die Forderung nach überwiegend binären Stößen mit kurzreichweitigen Wechselwirkungskräften bestimmt ist. Es werden Ansätze zur Lösung dieser komplizierten Integrodifferentialgleichung entwickelt und anhand einfacher Modellfälle getestet.

Als Verfahren dienen hierzu die sogenannten Momentemethoden. Sie beruhen auf einer Entwicklung der Teilchenverteilungsdichte nach Orthogonal-Polynomen, mit dem Ziel, die Boltzmann-Gleichung in einen leichter löslichen Satz von Momentengleichungen umzuformen, wobei der praktische Nutzen meist auf Reihenabbruch der vorgenommenen Entwicklung beruht. Die physikalische Bedeutung der Momente ermöglicht darüberhinaus einen Zugang zum hydrodynamischen Grenzfall der Boltzmann-Gleichung.

Ausgehend von der  $P_N$ -Methode in der Neutronentransporttheorie finden in unserer Methode die Kugelfunktionen als Basisfunktionen Verwendung. Die entsprechenden Momente sind Funktionen von Raum, Zeit und Betrag der Teilchengeschwindigkeit. Die große Schwierigkeit in der Ableitung der Momentengleichungen liegt in der Lösung der komplizierten Stoßintegrale unter Einbeziehung der Orthogonal-Polynome. Durch die Einführung von drei natürlichen Winkelgrößen, die sich als Stoß- und Streuwinkel deuten lassen, gelingt eine koordinatenfreie Formulierung der differentiellen Streuwahrscheinlichkeit. Diese Darstellung erweist sich für eine physikalisch relevante Dreifachentwicklung des Streukerns nach Legendre-Polynomen als besonders geeignet, wobei die eingeführten Winkel die Argumente bilden. Diese Entwicklung erlaubt schließlich die Projektion der Boltzmann-Gleichung auf die Basisfunktionen.

Neben der einfachen Entwicklung des Streukerns bildet diese Methode den Vorteil der besonderen physikalischen Relevanz der niedrigsten Momente. So steht wie bei der  $P_N$ -Methode das Moment nullter Ordnung mit der Teilchendichte, jenes erster Ordnung mit der Teilchenstromdichte in unmittelbarem Zusammenhang. Die nullte Näherung der Entwicklung des Streukerns entspricht einer im Laborsystem isotropen Streuung. Darüberhinaus bildet die Kugelfunktionsmethode eine ideale Basis für eine Multigruppendarstellung der nichtlinearen Boltzmann-Gleichung.

Entsprechend der allgemeinen Gestalt des Streukerns sind die Momentengleichungen im nichtlinearen Fall komplizierter als in der linearen Neutronentransporttheorie. Vielfachsummen im Streuterm bleiben auch nach der Projektion auf die Basisfunktionen erhalten, weshalb zur praktischen Behandlung neben der Entwicklung der Teilchenverteilungsdichte auch jene des Streukerns abgebrochen werden muß. Wir haben es demnach mit einer " $P_N^{KLM}$ -Methode" zu tun. Die Wahl niedriger Abbruchindizes führt zu einer starken Vereinfachung der Momentengleichungen. Allerdings ist dazu eine gute Konvergenz der Entwicklung des Streukerns notwendig. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde diese Konvergenz anhand einfacher Streubeispiele untersucht. Da sich die differentielle Streuwahrscheinlichkeit als singuläre Distribution manifestiert, wurde zur Darstellung des Konvergenzverhaltens auf reduzierte Streuwahrscheinlichkeiten übergegangen. Im ersten Fall wurde die Ablenkungswahrscheinlichkeit für den Stoß zweier Teilchen unter fest vorgegebenen Stoßparametern, wie Stoßwinkel und Anfangsgeschwindigkeiten betrachtet. Vielfach sind Teilchenverteilungsfunktionen jedoch annähernd isotrop und nahe dem Gleichgewicht, weshalb im zweiten Testfall die Streurate für Stöße an einem Gas mit Maxwell'scher Geschwindigkeitsverteilung berechnet wurde. Den jeweiligen exakten Funktionsverläufen wurden verschiedene durch Reihenabbruch gewonnene Näherungen gegenübergestellt. Neben der erhofft guten Konvergenz-

geschwindigkeit der Streukernentwicklung zeigte sich in dieser Untersuchung eine starke Vereinfachung der Momentengleichungen für annähernd isotrope Geschwindigkeitsverteilungen.

Die zufriedenstellenden Ergebnisse dieser Studie bilden eine solide Basis für eine weitere Bewährungsprobe unserer Methode, in welcher der Einfluß der Approximation des Streukerns auf das Konvergenzverhalten der Teilchenverteilungsdichte untersucht werden soll. Als Modellfall betrachten wir dazu das isotrope Relaxationsproblem von Gasen und Gasgemischen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes mit dem Kurztitel "Die  $P_N^{KLM}$ -Methode zur Berechnung der Relaxation von Gasen" soll die entsprechende Boltzmann-Gleichung unter Betrachtung verschiedener Stoßgesetze gelöst werden. Dieses Problem wurde bisher lediglich im Zusammenhang mit den sogenannten Maxwell-Molekülen untersucht - Teilchen, deren Wirkungsquerschnitt indirekt proportional der Relativgeschwindigkeit verläuft. Wir versuchen, Lösungen für das Streumodell der harten Kugeln zu gewinnen und Unterschiede zur Relaxation von Maxwell-Gasen aufzuzeigen. Von allen elementaren Stoßgesetzen besitzt jenes der harten Kugeln wohl den größten Praxisbezug im Hinblick auf Stöße von ungeladenen Partikeln.

Zur konkreten Lösung sollen dabei das Multigruppenverfahren sowie die Laguerre-Momentenmethode zum Einsatz kommen. Ersteres ist einfach am Computer zu programmieren und erlaubt die Inbetrachtung verschiedener Wechselwirkungsmodelle. Somit können neben den einfachen Streuquerschnitten der Maxwell-Moleküle und der harten Kugeln auch verschiedene durch Reihenabbruch gewonnene Streukernapproximation berücksichtigt werden. Näherungsmethoden zur Berechnung der Gruppenkonstanten und der Transferquerschnitte wurden bereits entwickelt und getestet. Dabei wurde eine besonders einfache Form des skalaren Streukerns der harten Kugeln entdeckt, die eine Lösung des Relaxationsproblems durch eine Laguerre-Polynomentwicklung erlaubt. Es gelingt, sämtliche dabei auftretenden Stoßintegrale analytisch auszuwerten und somit die Laguerremomente algebraisch darzustellen. Dies schien bisher nur im Fall der Maxwellschen Moleküle möglich.

Durch Einbeziehung eines Quellterms können beide Verfahren auf einfache Weise an praxisbezogene Problemstellungen angepaßt werden. Dies entspräche dem einfachsten Modell für das Aufheizen eines Gases durch Teilcheneinschuß. Auch die Erweiterung auf verschiedene Teilchensorten bedingt keine grundsätzlichen Erweiterungen der Verfahren.

#### PUBLIKATIONEN

G.Kügerl, F.Schürer: " $P_N^{KLM}$ -Expansion of the Scattering Kernel of the Nonlinear Boltzmann Equation and its Convergence Rate", Phys.Rev.A, im Druck

#### ABGESCHLOSSENE DIPLOMARBEIT

G.Kügerl: "Der Streukern der nichtlinearen Boltzmann-Gleichung und seine Entwicklung nach Kugelfunktionen" (1987)

#### LAUFENDE DISSERTATION

G.Kügerl: "Lösung der nichtlinearen Boltzmann-Gleichung für das Relaxationsproblem harter Kugeln"

#### POSTERPRÄSENTATION

G.Kügerl, F.Schürer: Approximation und Konvergenz der differentiellen Streuwahrscheinlichkeit in der nichtlinearen Transportgleichung, Jahrestagung der ÖPG, Graz, 21.-25.09.1987

#### TAGUNGSBESUCH

G.Kügerl: Workshop on Discrete Kinetic Theory, Lattice Gas Dynamics and Foundations of Hydrodynamics, Turin, 20.-24.09.1988

#### BEANTRAGTES FORSCHUNGSPROJEKT

Lösung der nichtlinearen Boltzmann-Gleichung für die Relaxation homogener Gase und Gasgemische mit Hilfe der Kugelfunktionsmethode; Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Projektnummer P7008P (in Begutachtung)

## FACHBEREICH: ENERGIESYSTEMANALYSE

### EFFIZIENTE ENERGIEGENUTZUNG - EIN NEUER FORSCHUNGSSCHWERPUNKT ?

M. HEINDLER, K.-H. LESCH, A. MOLIN

Der Schwerpunkt der bisherigen Arbeiten im Bereich Energiesystemanalyse lag in der Untersuchung heutiger und zukünftig denkbarer nuklearer Energiebereitstellungssysteme.

Die Erhöhung des Energieangebotes leistet jedoch gegenwärtig kaum einen Beitrag zur Lösung des Energieproblems. Zahlreiche internationale Studien zeigen, daß die Einführung neuer Energieträger oder -quellen im wesentlichen nicht zu Substitutionseffekten führt, wohl aber zu einem weiteren Ansteigen des Gesamtverbrauches.

Zwar ist Energie derzeit am internationalen Markt in nahezu beliebiger Menge zu günstigen Preisen erhältlich, ein weiteres Ansteigen des Gesamtenergieverbrauches in den Industrieländern führt jedoch zu einer zunehmenden Verschärfung der ohnedies kritischen Umweltsituation und des Nord-Süd-Gefälles. Darüberhinaus stößt der weitere Ausbau von Energiebereitstellungssystemen zunehmend auf wirtschaftliche und soziale Grenzen.

Als Lösung bietet sich eine grundsätzliche Neuorientierung der Energiepolitik und damit verbunden eine tiefgreifende Umstrukturierung von Energieversorgungssystemen und Energiewirtschaft an. Bisher versuchte man an jedem Ort zu jeder Zeit den gewünschten Energieträger in der geforderten Menge zum niedrigstmöglichen Preis anzubieten (Angebotsorientierte Energiepolitik). Nachgefragt wird jedoch kein Energieträger, sondern eine bestimmte Energiedienstleistung (warme, erleuchtete Räume, Transport, Produktion, Kommunikation, etc.). Bedarfsorientierte Energiepolitik orientiert sich nun an den nachgefragten Energiedienstleistungen und versucht, diese mit minimalem Energieeinsatz unter Bedachtnahme auf Randbedingungen wie Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit, soziale Verträglichkeit, etc. zu erbringen.

Um die Potentiale dieses neuen Ansatzes auszuloten und vorhandene Forschungsdefizite zu identifizieren, veranstalteten wir im Berichtszeitraum zwei Tagungen: zunächst im Oktober 1987 das "Grazer Symposium Verbraucherseitige Energiepolitik". Hier konnte David Freeman, ein führender Vertreter dieser Strategie aus den USA, als Hauptreferent gewonnen werden. Anfang April 1988 folgte dann die 1. Internationale Energieberater-Konferenz, Marketing-Strategien für effiziente Energienutzung, mit Referenten aus Schweden, Dänemark, der BRD, der Schweiz und Österreich.

Diese Tagungen brachten eine Fülle von Anregungen und Einsichten, deren Auswertung die Auswahl neuer Forschungsschwerpunkte an der Abteilung für Energie-Physik wesentlich mitbestimmen wird.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

Energierreferat, Wirtschaftshof, Magistrat Graz (Dr.K.Niederl)  
Institut für Volkswirtschaftslehre und Volkswirtschaftspolitik, Universität Graz (Prof.Schleicher)  
Forschungsstelle für angewandte Klimatologie und Umweltstudien, Institut für Geographie, Westfälische Wilhelms-Universität (Prof.W.Bach)  
FORUM Österreichischer Wissenschaftler für Umweltschutz  
Kommunale Energiesparagentur für Steiermark

#### PUBLIKATIONEN

- K.-H.Lesch, I.Weger, M.Heindler: "Dynamical Analysis of Different Concepts on Long Term Fission Strategies", Proc. 4th Int. Conf. on Emerging Nuclear Energy Systems, June 30 to July 4, 1986, Madrid, ed.: G. Velarde, E. Minguez, World Scientific Publishing Co. (1987), 447-450
- A.Molin: "Assessment of Nuclear Reactor Systems Alternatives", Proc. 4th Int. Conf. on Emerging Nuclear Energy Systems, June 30 to July 4, 1986, Madrid, ed.: G. Velarde, E. Minguez, World Scientific Publishing Co. (1987), 455-458
- D.Hohenwarter, M.Heindler: "Net Power and Energy Output of the German LWR Nuclear Power System", Energy 13, 287-300 (1988)
- K.-H.Lesch, A.Molin (ed.): 1. Internationale Energieberater-Konferenz, Marketing-Strategien für effiziente Energienutzung, 7. - 9. April 1988, T.U. Graz (1988)
- K.-H.Lesch, K.Niederl (ed.): Grazer Symposium Verbraucherseitige Energiepolitik, 15./16. Oktober 1987, Graz, T.U. Graz (1988)

#### ABGESCHLOSSENE DIPLOMARBEIT

- K.-H.Lesch: Neue Strategien für Nukleare Brennstoffkreisläufe, Juni 1987

#### LAUFENDE DISSERTATION

- K.-H.Lesch: Einsparpotentiale durch neue Techniken in der Elektrizitätswirtschaft

#### VORTRÄGE

- A.Molin, M.Heindler, W.Kernbichler: "A Preliminary Assessment of the Prospects of Fusion and Fission as Viable Power Sources", Energy Independence Conference, Fusion Energy and Plasma Physics, August 17-21, 1987, Rio de Janeiro (to be published by World Scientific)
- K.-H.Lesch: "Verbraucherseitige Energiepolitik in Nordamerika und Europa", Oekologia, 6.-15. November 1987, Wien
- A.Molin: "Vergleichende Analyse und Bewertung nuklearer Stromerzeugungssysteme", Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, 17. November 1987, Karlsruhe
- K.-H.Lesch: "Kernspaltung, Kernfusion, Energiesparen - drei Optionen für die Energie-Zukunft", Kolloquium für Theoretische Physik, Universität Oldenburg, 11. Jänner 1988, Oldenburg
- A.Molin: "Oh du lieber Augustin ... - Anmerkungen zur österreichischen Energiepolitik", Erste Grieskirchner Umwelttage '88, 8. - 11. September 1988, Grieskirchen

#### VERANSTALTUNGEN

- Grazer Symposium Verbraucherseitige Energiepolitik, 15./16. Oktober 1987 (in Zusammenarbeit mit der Stadt Graz)
1. Internationale Energieberater-Konferenz, Marketing-Strategien für effiziente Energienutzung, 7. - 9. April 1988 (in Zusammenarbeit mit der Stadt Graz und der Kommunalen Energiespar-Agentur für Steiermark)

#### POSTERPRÄSENTATION

- A.Molin, M.Heindler, W.Kernbichler: "A Preliminary Assessment of the Prospects of Fusion and Fission as Viable Power Sources", Jahrestagung der ÖPG, 21.-25. September 1987, Graz

#### TAGUNGSBESUCHE (ohne Beitrag)

- A.Molin: Das Parlament und die Herausforderung durch Technik, Symposium des Deutschen Bundestages, 30. September - 1. Oktober 1986, Berlin
- A.Molin: Umweltverträglichkeitsprüfung - Modelle für die Verwaltungspraxis, Akademie für Umwelt und Energie, 14. Mai 1987, Laxenburg
- K.-H.Lesch: Demand-Side Management, Strategies in Transition, 3rd Nat. Conf. on Utility DSM Programs, June 16-18, 1987, Houston
- K.-H.Lesch: Internationales Energieforum Hamburg, 7.-11. Juli 1987, Hamburg
- A.Molin: Complexities of the Human Environment, Discoveries 1987 Symposium, HONDA-Foundation, 20. - 22. Juli 1987, Wien
- A.Molin: OEKOLOGIA, 6. - 15. November 1987, Wien
- A.Molin: 4. Hochschulseminar für Energieberater, 20. - 22. September 1988, Klagenfurt

## FACHBEREICH: FUSIONSPHYSIK

### REAKTORSTUDIEN

W.KERNBICHLER, M.HEINDLER

Die Arbeit auf dem Gebiet Fusionsreaktorstudien ist geprägt durch die gegenwärtige Zusammenarbeit der Abteilung Energiephysik und dem Fusion Studies Laboratory der University of Illinois. Dabei sind folgende drei Gebiete von vorrangiger Bedeutung, die im folgenden kurz beschrieben werden.

#### Kommerzielle Tokamak Studie - ARIES

Das US-Department of Energy führt gegenwärtig eine Tokamak-Reaktorstudie durch (ARIES steht dabei für Advanced Reactor Innovation and Evaluation Study), in der neben vielen amerikanischen Forschungszentren auch das Fusion Studies Laboratory der University of Illinois involviert ist. Diese breit angelegte Studie hat die Entwicklung mehrerer möglicher Szenarien für einen zukünftigen Fusionsreaktor zum Ziel, wobei alle wesentlichen Aspekte eines solchen Systems behandelt werden sollen (Plasmaphysik, Blanketphysik, Technologie, Neutronen- und Tritiumproblematik, Sicherheit, Kosten, ...). Neben einer Version, die mit Deuterium und Tritium als Brennstoff betrieben werden soll, ist auch eine Version mit Deuterium und Helium-3 als Brennstoff vorgesehen. Die D-T Version wird dabei mit ziemlicher Sicherheit ein Hochfeld-Tokamak mit kleinen Beta-Werten, wohingegen der Typ der D-3He Version noch weitgehend diskutiert wird (Hochfeld, Hoch-Beta, Spherical Torus). Die Beteiligung der Abteilung Energiephysik an dieser Studie liegt auf folgenden Gebieten: (i) Arbeitsbereich der D-3He Version - unter Verwendung eines in Graz begonnenen und an der University of Illinois weiterentwickelten profilgemittelten stationären Plasmacodes; (ii) Überlegungen zur Neutronen- und Tritiumproblematik in D-3He-Reaktoren; (iii) Synchrotronstrahlung und ihre Rolle als Verlustmechanismus und als möglicher Kandidat für Stromtreiben in Tokamaks.

#### Field Reserved Configurations

Field-Reversed Configuration (FRC) ist ein spezieller Plasmaeinschluß mit Magnetfeldumkehr, die durch starke Ströme im Plasma verursacht wird. Dieses Konzept hat viele ideale Eigenschaften, die seine Verwendung für D-3He-Plasmen vorteilhaft erscheinen lassen. Dazu gehören unter anderem die hohe Magnetfeldausnutzung, hohe Beta-Werte, einfache Geometrie, kompakte Bauweise, das Vorhandensein eines natürlichen Divertors und die Möglichkeit für direkte Konversion der Energie geladener Teilchen in elektrische Energie. Die Entwicklung eines Reaktor-konzepts ist aber weit nicht so fortgeschritten wie im Bereich des Tokamaks. Viele Fragen auf einem Weg zum Reaktor sind offen. Diese sind hauptsächlich in der geringen experimentellen Basis begründet und umfassen die Gebiete Stabilität, Transport, Formation von FRCs und ihre Lebensdauer, Übergang zu gezündetem Betrieb, Einfluß von Ionen mit großen Gyroradien und Stromtreiben. Alle diese Gebiete werden in einer amerikanisch-japanischen Kooperation behandelt, in die auch die Abteilung für Energiephysik eingebunden ist.

#### Brennkontrolle in ITER

Das in weltweiter Zusammenarbeit durchgeführte Forschungsprogramm ITER hat die Planung und den eventuellen Bau eines D-T-Testreaktors, basierend auf dem Tokamakprinzip, zum Ziel. Dieser Reaktor soll zum Test maßgeblicher Komponenten herangezogen werden. Daher soll das erste Mal in der Geschichte der Fusion ein stationärer Betrieb mit einem brennenden Plasma durchgeführt werden, um bestimmte Testparameter (z.B. Neutronenfluß auf die erste Wand) möglichst konstant halten zu können. Die Kontrolle des Arbeitspunktes eines solchen Reaktors beinhaltet (i) die Kontrolle thermischer Instabilitäten (Verhinderung eines unkontrollierten Temperaturanstiegs), (ii) Kontrolle des radialen Verlaufes von Dichte, Temperatur und Plasma-

strom, (iii) Kontrolle des Aschegehalts und (iv) einen schnellen und sicheren Abschaltmechanismus. Ein denkbare Szenario dabei ist ein Betrieb knapp unter der Zündgrenze, Kontrolle durch Brennstoffzufuhr und Heizung, zusätzliche 'negative' Kontrollelemente (Verunreinigungen, Field-Ripple, Synchrotronstrahlung). Denkbare Profilkontrollen sind die Art der Brennstoffzufuhr und die Kontrolle des Stromtreibens entweder durch zwei unterschiedliche Methoden (Neutral Beams im Zentrum, Lower Hybrid am Rand), oder durch Modifikationen der Stärke eines Systems. All diese Fragestellungen sind Teil der Forschungsarbeit, die im wesentlichen in Kooperation mit dem Lawrence Livermore National Lab. durchgeführt wird.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

Fusion Studies Laboratory, University of Illinois  
American ITER Team (Brennkontrolle), LLNL  
ARIES Tokamak Group, UCLA and other Labs.

#### DISSERTATION

W.Kernbichler: "Brennstoffalternativen in der Fusion - Eine physikalische Bewertung der Möglichkeiten" (abgeschlossen)

#### PUBLIKATIONEN

W.Kernbichler, R.Feldbacher, M.Heindler, A.Nassri, K.Schöpf: "Deuterium Based Fuel Cycles - The Benefits of Tritium Leanness", IAEA-CN-47/H-III-9, Vol. 3 (1987), 373  
W.Kernbichler, M.Heindler: "Neutron-lean Fusion Reactor Studies for Thermal Plasmas", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A271 (1988), 65

#### TAGUNGSPRÄSENTATIONEN

A.Molin, M.Heindler, W.Kernbichler: A Preliminary Assessment of the Prospects of Fusion and Fission as Viable Power Source; Energy Independence Conference: Fusion Energy and Plasma Physics, August 17-21, 1987, Rio de Janeiro, Brazil  
W.Kernbichler, G.H.Miley, M.Heindler: D-3He Fuel Cycles for Neutron Lean Reactors; 8th Topical Meeting on the Technology of Fusion Energy, October 9-13, 1988, Salt Lake City, Utah  
W.Kernbichler, G.H.Miley, M.Heindler: D-3He in Field-Reversed Configurations; 13th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics of the American Physical Society, October 31 - November 4, 1988, Hollywood, FL  
W.Kernbichler, M.Heindler: D-3He Burning Plasma Physics; US-Japan Workshop on Data Basis for D-3He Fuels in a Field-Reversed Configuration, October 5-7, 1988, Urbana, IL

#### FORSCHUNGSaufenthalt

W.Kernbichler: Fusion Studies Laboratory, University of Illinois, Urbana-Champaign, USA, Februar 1988 - Februar 1989

FACHBEREICH: KERNFUSION

ENTSTEHUNGSENERGIEVERTEILUNG VON REAKTIONSPRODUKTEN AUS EXOTHERMEN FUSIONSREAKTIONEN

G. HEINRICHS, H. RIEDLER, K. SCHÖPF

Die Berechnung von Entstehungsenergiespektren hochenergetischer Reaktionsprodukte stellt nicht nur eine interessante grundlagentheoretische Fragestellung der Fusionsforschung dar, sie ist auch von besonderer Bedeutung in der Plasmadiagnostik bereits bestehender Fusionsgroßexperimente. So liefert etwa der Vergleich zwischen experimentell ermitteltem und theoretisch berechnetem Fusionsneutronenfluß wertvolle Informationen bezüglich kinetischer Temperatur und Geschwindigkeitsverteilung der Fusionsbrennstoffionen. Unter der Annahme, daß die Temperatur  $kT$  dieser Brennstoffionen klein gegenüber der Wärmetönung  $Q$  der entsprechenden Fusionsreaktion sei ( $kT/Q \ll 1$ ), wurde in der einschlägigen Literatur bereits ein näherungsweise analytischer Ausdruck für das Quellspektrum hergeleitet, der die Form einer Gauß'schen Glockenkurve besitzt. Ziel dieser Arbeit war es nun, einen mathematischen Lösungsformalismus zu finden, der es gestattet, ohne obige Einschränkung zu einem exakten analytischen Ausdruck für die Quellspektren der Fusionsprodukte zu gelangen.

Der überwiegende Teil der reaktorrelevanten Fusionsreaktionen läßt sich als exothermer, binärer Prozeß beschreiben, bei dem zwei Fusionspartner  $a, b$  miteinander wechselwirken und dabei wiederum gerade zwei Fusionsprodukte  $A, B$  generieren. Dieser Vorgang kann in guter Genauigkeit als nichtrelativistisch behandelt werden, so daß die Erhaltungssätze für Energie, Impuls und Masse gelten. Man erhält das gesuchte Entstehungsspektrum für beispielsweise die  $A$ -Teilchen in Abhängigkeit ihrer Geschwindigkeit  $\vec{v}_A$ , indem über sämtliche Geschwindigkeitskomponenten der verbleibenden Teilchensorten  $a, b, B$  integriert wird.

$$S_A(\vec{v}_A) d^3 v_A = \frac{n_a n_b}{1 + \delta_{ab}} d^3 v_A \int \int \int_{-\infty}^{+\infty} P(\vec{v}_a, \vec{v}_b | \vec{v}_A, \vec{v}_B) f_a(\vec{v}_a) f_b(\vec{v}_b) d^3 v_a d^3 v_b d^3 v_B \quad (1)$$

$S_A$  gibt die Zahl der  $A$ -Teilchen aus der  $a(b, B)A$  Reaktion an, die pro Volums- und Zeiteinheit mit Geschwindigkeiten im Intervall  $|\vec{v}_A, \vec{v}_A + d\vec{v}_A|$  entstehen. Dabei bezeichnen  $n_a$  und  $n_b$  die Teilchendichten der Brennstoffionensorten,  $f_a(\vec{v}_a)$  und  $f_b(\vec{v}_b)$  ihre - in der Folge als isotrop Maxwell-verteilt angenommene - Geschwindigkeitsverteilungsfunktionen. Das Kronecker Delta  $\delta_{ab}$  im Nenner von Gl. (1) verhindert eine Doppelzählung von Fusionsereignissen im Falle nicht unterscheidbarer Teilchen ( $a=b$ ). Der Integralkern  $P(\vec{v}_a, \vec{v}_b | \vec{v}_A, \vec{v}_B)$ , der als eine Art differentielle Fusionsübergangsrate bezeichnet werden kann, berücksichtigt, daß bei Vorgabe eines bestimmten  $\vec{v}_A$  unter allen möglichen Kombinationen von  $\vec{v}_a, \vec{v}_b$  und  $\vec{v}_B$  nur diejenigen aufsummiert werden, welche der Energie- und Impulserhaltung genügen.

Wegen der vorausgesetzten räumlichen Isotropie des Hintergrundplasmas, zeigt auch das zu berechnende Quellspektrum sphärische Symmetrie. Man geht daher zweckmäßigerweise auf eine Energiedarstellung  $S_A(E_A)$  über. Zur Auswertung des 9fach-Integrals, Gl. (1), erweist es sich weiters als günstig, sämtliche Größen auf Relativ- und Schwerpunktskoordinaten - und zwar vor und nach der Fusion -  $\vec{v}_r, \vec{v}_s, \vec{v}_R, \vec{v}_S$  zu transformieren. Durch geschickte Wahl der Integrationsreihenfolge gelingt so die Reduktion auf ein 1fach-Integral über den Betrag der Relativgeschwindigkeit nach der Fusion:

$$S_A(E_A) = \frac{2}{\pi} \frac{n_a n_b}{1 + \delta_{ab}} \frac{\sqrt{m_a m_b}}{m_{ab} (kT)^2} \int_{\frac{3Q}{m_{AB}}}^{\infty} \left( \frac{m_{AB}}{2} v_R^2 - Q \right) \exp\left\{ -\frac{1}{kT} \left( \frac{m_{AB}}{2} v_R^2 - Q \right) \right\} \times \left[ \exp\left\{ -\frac{m_a + m_b}{2kT} (v_A - v_R)^2 \right\} - \exp\left\{ -\frac{m_a + m_b}{2kT} (v_A + v_R)^2 \right\} \right] \sigma(v_R) dv_R \quad (2)$$

$\sigma(v_R)$  bezeichnet darin den totalen Fusionsquerschnitt,  $m_{ab}$  und  $m_{AB}$  sind die reduzierten Massen vor und nach der Fusion. Um das verbleibende Integral exakt analytisch auswerten zu können, muß eine explizite Darstellung des Fusionsquerschnittes als Funktion der Energie bzw. Relativgeschwindigkeit gefunden werden, deren funktioneller Zusammenhang so einfach ist, daß Gl.(2) noch integrierbar bleibt.

Einige Datensammlungen liefern nun  $(E, \sigma)$ -Datenpaare in linear interpolierbarer Form, so daß  $\sigma(v_R)$  sogar als Summe von Geradenstücken dargestellt werden kann. Dies gestattet es, Gl.(2) in einzelne analytisch integrable Summanden zu zerlegen; als Endresultat erhält man dementsprechend eine Summe von Exponential- und Errorfunktionstermen, die selbst auf kleinen Rechenanlagen leicht handhabbar sind.

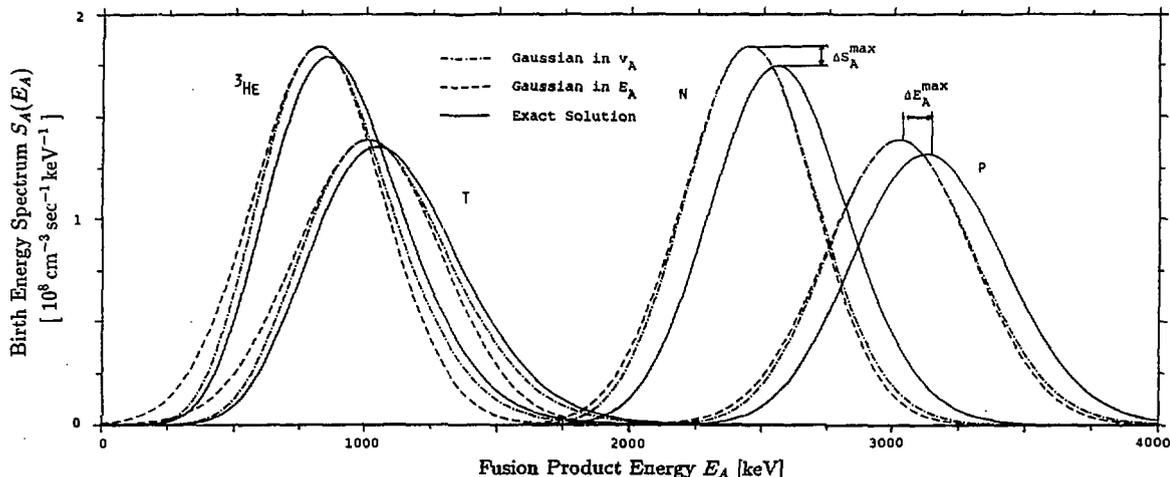


Abb.: Am Beispiel der Quellspektren der beiden Reaktionskanäle  $D(d,n)^3He$  ( $Q = 3269$  keV) und  $D(d,p)^T$  ( $Q = 4033$  keV) eines reinen D-D Plasmas ( $kT = 50$  keV,  $n_D = 1.4 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ) wurde unsere exakte Lösung mit zwei aus der Literatur bekannten Näherungslösungen, einer Gaußverteilung in  $v_A$  bzw. einer Gaußverteilung in  $E_A$ , verglichen. Man erkennt, daß zwar beide "Gaußfits" die generelle Kurvenform - charakterisiert durch die Halbwertsbreite - sehr gut approximieren, Position und Höhe der Kurvenmaxima aber deutlich gegenüber der exakten Kurve verschoben sind.

**ZUSAMMENARBEIT MIT:**

International Atomic Energy Agency, Physics Section, Wien  
 Institut für Theoretische Physik, Universität Innsbruck

**DISSERTATION**

G.Heinrichs: "Effekte suprathemischer Reaktionsprodukte in Fusionsplasmen" (in Arbeit)

**PRÄSENTATIONEN**

- K.Schöpf, G.Heinrichs: Effekte von Reaktionsprodukten in Fusionsplasmen; Fachvortrag bei der ÖPG-Jahrestagung'87, Graz, 21.-25.September 1987
- K.Schöpf, G.Heinrichs: Exakte Berechnung der Entstehungsenergieverteilung von Fusionsprodukten; Fachvortrag bei der ÖPG-Jahrestagung'88, Wien, 26.-30.September 1988
- G.Heinrichs, K.Schöpf, H.Riedler et al.: Analytical Calculation of Source Energy Spectra from Maxwellian Fusion Plasmas of Arbitrary Temperature; Poster at the 12th International Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, Nizza, 12.-19.Oktober 1988

## FACHBEREICH: KERNFUSION

### KERNREAKTIONEN ZWISCHEN LEICHTEN GELADENEN TEILCHEN

R.FELDBACHER, R.FLASCHBERGER

Ein spezielles Thema im Rahmen der Untersuchung der verschiedenen Brennstoffalternativen in der Fusion ist das Problem der Wirkungsquerschnitte für die in den verschiedenen Isotopengemischen ablaufenden Kernreaktionen zwischen leichten Atomkernen. Zum Unterschied zu den Daten für die 14 MeV-Neutronen der D-T Fusion ist die Datenbasis für Reaktionen zwischen leichten Kernen noch sehr schwach.

Gegenstand der hier beschriebenen Arbeit ist die Entwicklung und Fortführung einer systematischen Kompilierung, Evaluierung und Darstellung der Wirkungsquerschnitte für die entsprechenden Kernreaktionen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf Kernreaktionen (inklusive elastischer und inelastischer Kernstreuung) zwischen den Isotopen der ersten 5 Elemente. Diese sind für die Untersuchung der verschiedenen Brennstoffkandidaten von Bedeutung.

Im einzelnen werden dabei Reaktionen und Streuungen zwischen den Brennstoffisotopen, von Isotopenverunreinigungen der Brennstoffe sowie von Reaktionsprodukten, die im Brennstoffgemisch Folgereaktionen eingehen können, in Betracht gezogen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf (i) Reaktionen, die die Energieproduktion im Brennstoff bestimmen (exotherme Hauptreaktionen), (ii) Reaktionen, die das dynamische Verhalten eines reaktiven Brennstoffes bestimmen (Folgereaktionen, konkurrierende Kanäle, Reaktionsketten), (iii) Reaktionen, die Neutronen, Gammastrahlung und Radionuklide produzieren. Der interessierende Energiebereich ist  $[0,20]$  MeV.

Der während des Berichtszeitraumes erzielte Stand der Datenbibliothek beinhaltet ca. 80 verschiedene Kernreaktionen und enthält folgende Informationen bzw. erfüllt folgende Aufgaben:

- Identifikation der für die Untersuchung von fortgeschrittenen Fusionsbrennstoffen wichtigen Kernreaktionen.
- Umfassende, über den Dateninhalt hinausgehende Bibliographie.
- Sammlung der weit verstreut publizierten Daten, Aufnahme in EDV-verarbeitbarer Form und Darstellung in übersichtlicher, graphischer Weise. Dies ist für Bor-Isotope weitgehend abgeschlossen, für die übrigen Isotope in Arbeit. Leicht auswertbare Quellen, wie verfügbare files und lokale Bibliotheken wurden ebenfalls vollständig ausgewertet.
- Übersicht über Existenz, Grad der Bekanntheit, Genauigkeit der vorhandenen experimentellen Daten und somit Bewertung der Zuverlässigkeit der (wenigen bestehenden) Evaluierungen.
- Basis für Vorschläge für (Neu-)Messungen und Evaluierungen.
- Identifikation eines Satzes von "recommended cross sections" auf Basis einer qualitativen Bewertung der Datenbasis, der dennoch für die betroffenen Reaktionen den bestbekanntesten Querschnitt darstellt und vorläufig bis zur Verfügbarkeit fundierter Evaluierungen zur Verwendung empfohlen wird.

Trotz der Existenz einer großen Zahl experimenteller Informationen auch in der freien Literatur sind diese wegen ihrer weit verstreuten Publikation schlecht verfügbar. Bestehende Sammlungen sind weitgehend unvollständig. Das Vorliegen von Lücken und stark widersprüchlichen Daten ist evident. Dies spiegelt sich auch in den wenigen bestehenden evaluierten Datenfiles wieder. Daher ist für die zukünftigen Arbeiten geplant, neben der Vervollständigung der Kompilierung eine kerntheoretisch fundierte Evaluierung durchzuführen und die dazu notwendigen Methoden zu erarbeiten. Dabei soll auch der Einfluß der Spinpolarisation der Kerne auf die Wirkungsquerschnitte untersucht werden. Die Datenbibliothek wird in Zusammenarbeit mit der IAEA international verfügbar gemacht.

ZUSAMMENARBEIT MIT:

International Atomic Energy Agency, Nuclear Data Section, Wien  
Nuclear Engineering Lab., University of Illinois, USA (Prof.Dr.G.Miley)

PUBLIKATIONEN

- R.Feldbacher, M.Heindler, G.Miley: "Requirements for Charged Particle Light Isotopes Reaction Data for Advanced Fuel Cycles including two step reaction Mechanism", Proc. IAEA Advisory Group Meeting on Nuclear Data for Fusion Reactor Technology, IAEA-TECDOC-457, p 65, Wien 1988 (invited paper)
- R.Feldbacher: "The AEP Barnbook DATLIB", INDC(AUS)-12/G, Wien 1987
- R.Feldbacher, M.Heindler: "Basic Cross Section Data for Aneutronic Reactor", Nucl.Instrum. Methods A271, 55 (1988)

DIPLOMARBEITEN UND DISSERTATIONEN

- R.Feldbacher: "Wirkungsquerschnitte von Kernreaktionen in Fortgeschrittenen Fusionsbrennstoffen", (abgeschlossene Diplomarbeit)
- R.Feldbacher: "Evaluierung von Kernreaktionsdaten für leichte geladene Isotope", (laufende Dissertation)
- R.Flaschberger: "Theorie der Kernreaktionen" (laufende Diplomarbeit)

VORTRÄGE

- R.Feldbacher: Requirements for Charged Particle Light Isotopes Reaction Data for Advanced Fuel Cycles including Two Step Reaction Mechanism, IAEA-Advisory Group Meeting on Nuclear Data for Fusion Reactor Technology, Gaussig, DDR, 1.-5.12.1986
- R. Feldbacher: Overview of Advanced Fuel Fusion Research at Alternate Energy Physics Program in Graz, Nucl.Engin. Lab., University of Illinois, Urbana/Champaign, USA, 01.10.1986
- R.Feldbacher: Charged Particle Nuclear Reaction Data Files for Fusion Research, IAEA Specialists Meeting on the Fusion Evaluated Nuclear Data Library related to the ITER Activity, IAEA-NDS, Wien, 16.-18.11.1987
- R.Feldbacher: Charged Particle Nuclear Cross Section for Advanced Fusion Fuels, Int.Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Mito, Japan, 30.05. - 03.06.1988
- R.Feldbacher: Wirkungsquerschnitte für Kernreaktionen geladener Teilchen in Fusionsbrennstoffen, Jahrestagung der ÖPG, Fachausschuß AMP, Wien, 27.09.1988

POSTERPRÄSENTATIONEN

- R.Feldbacher, M.Heindler: Basic Cross Section Data for Aneutronic Reactor, Int. Symp. on the Feasibility of Aneutronic Power, Princeton, USA, 10.-11.09.1987
- R.Feldbacher: Nuclear Cross Section Compilation for Advanced Fusion Fuel Research, Jahrestagung der ÖPG, Graz, 21.-25.09.1987

TAGUNGSBESUCHE

- R.Feldbacher: Course and Workshop on Myon Catalyzed Fusion and Fusion with Polarized Nucl., Ettore Majorana Center, Erice, Italien, 03.-09.04.1987

FORSCHUNGSaufenthalt

- R.Feldbacher: Nuclear Engineering Laboratory, University of Illinois, Urbana-Champaign, USA, 22.09.-07.10.1986

## FACHBEREICH: PLASMAPHYSIK

### SYNCHROTRON RADIATION IN PLASMA PHYSICS

A. NASSRI, M. HEINDLER

Charged particles are accelerated in the presence of a magnetic field and, as a consequence, emit electromagnetic radiation, the so-called synchrotron or cyclotron radiation. The calculation of this effect is of particular interest for astrophysical plasmas and of fusion plasmas. In the field of fusion plasma physics research, the role of emission and absorption of electromagnetic radiation is manifold and includes the following topics:

- diagnostics of fusion experiments (ECE, Electron Cyclotron Emission),
- r.f. plasma heating (ECRH, ICRH: Electron and Ion Resonance Heating, respectively),
- non-inductive current drive, including current drive by nonisotropic synchrotron radiation,
- contribution to electron heat conductivity,
- net synchrotron power emission through plasma surfaces (including the possibility of direct power conversion).

Our investigation focussed on the role of synchrotron radiation as a mechanism for the emission of power from fusion relevant plasmas; this radiative surface emission can be viewed as an undesirable loss of power from the plasma or, following some power reactor concepts, as an attractive way to extract and directly convert power from a high-temperature-high-density plasma in an advanced fusion power reactor. Recently, the impact of synchrotron radiation on the energy transport in the plasma has also been discussed in the context of the next generation of experimental fusion devices which may be operating at very low plasma beta. The deficiencies of available calculational tools for the synchrotron radiation leakage from a fusion plasma in the electron temperature range from one to 100 keV lead us to develop a precise, efficient and fast computer code.

The single particle radiation theory for a relativistic Maxwellian distribution of plasma electrons was our starting point for the derivation of a new representation for the emission/absorption coefficient for synchrotron radiation in a plasma. This representation was shown to offer considerable numerical advantages over existing ones and to be in perfect agreement, for all modes above the very low ones, with the results obtained previously from the plasma kinetic theory. In turn, this new presentation was found to be a good starting point for the derivation of simple, analytical formulae for the radiation coefficients which could be shown to be highly accurate and far superior to other existing representations. In particular their simplicity and accuracy make them ideally suited for incorporation in a radiation transport code.

For the radiation transfer in plasmas we solved the equation of radiation transport under a few commonly used assumptions: plasma refractive index and ray refractive index of unity, stationarity, mirror reflectivity, and included the possibility of mode conversion at the reflective boundary. Integration with respect to radiation frequency, direction of propagation and boundary coordinates then yields the total power radiated off the plasma. For special geometries (infinite cylinder and slab), a computer code SYLO was developed which has the following features: It is very fast, as compared to other available synchrotron codes, accounts for radiation emission and reabsorption in each point of the plasma as well as for polarization mixing at the reflecting boundary, accounts for inhomogeneities of the electron density as well as of temperature and magnetic field profiles, and is very accurate as it uses our improved formulae for the radiation coefficients.

This code has been used to investigate a series of interesting features of fusion plasmas. One

was the impact of the geometry. We could show that - for a given electron density and temperature, magnetic field and wall reflectivity - a homogeneous plasma slab of thickness L and a plasma cylinder with radius L radiate off the same amount of synchrotron power, within a few percent. This reproduces findings in neutron transport calculations where L is called an equivalent mean chord length. Another study concerned the effect of the plasma diamagnetic effect (average plasma beta) on the amount of synchrotron power emission, as well as the effect of the profile shape of quantities such as the magnetic field, the electron temperature and the electron density.

- A very extensive parametric study finally allowed us to derive a new scaling law for the synchrotron power emission from a homogeneous plasma (cylinder and slab geometry) which shows a slightly different or more involved dependence of the radiative loss on the various parameters, as compared to previously derived scaling laws:

$$P[\text{MW}/\text{m}^3] \sim 2,65 \cdot 10^{-15} (1-R)^{0,6} L^{-0,6} N^{0,41} B_0^{2,6} (1-\beta)^{1,3} T^{2,5} (1+10^{-6} T^{2,73})$$

Here electron temperature T, external magnetic field B<sub>0</sub>, electron density N and plasma size L are in units of keV, Tesla, m<sup>-3</sup>, m, respectively. The accuracy of this scaling has been verified for the following parameter subspace:

- Electron temperature T from 5 to 120 keV
- Magnetic field B<sub>0</sub> from 0.5 to 12 Tesla
- Electron Density N from 10<sup>18</sup> to 10<sup>21</sup> m<sup>-3</sup>
- Reflection coefficient R from 0.0 to 0.999
- Radius of cylinder (thickness of slab) L from 0.1 to 4 meters
- Plasma β from 0.05 to 0.99.

The maximum error was found to be 28 % for the parameter set T<sub>e</sub>=keV, N<sub>e</sub>=5.5 10<sup>20</sup> m<sup>-3</sup>, L=0.1m, R=0.3, B<sub>0</sub>=0.5T, with much better precision in the parameter domain of interest.

#### RESEARCH PROJECTS

Synchrotron Radiation in Plasmas (Austrian National Bank, No.2726, 1986-1988)

Physical Properties of Magnetically Confined Advanced Fuel Fusion Plasmas (International Atomic Energy Agency, No. 4082/R1/RB, in progress since 1985)

#### PUBLICATIONS, POSTERS

- A.Nassri, M.Heindler: Phys.Fluids 29, 3275 (1986)
- W.Kernbichler, R.Feldbacher, M.Heindler, A.Nassri, K.Schöpf: D-Based Fuel Cycles: The Benefits of Tritium Leanness (Proceeding of the 11th International Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, Held by the IAEA in Kyoto, Japan, Nov. 1986, IAEA, Vienna, 1987), Vol. 3, p.373
- A.Nassri, M.Heindler: Synchrotron Radiation in Plasma Physics (Proceeding of the 1987 International Conference on Plasma Physics, Kiev, USSR, 1987), Vol.4, p.275
- M.Heindler, A.Nassri: Synchrotron Radiation Absorption Coefficient in Relativistic Plasmas (Proceeding of the 1987 Sherwood Controlled Fusion Theory Conference, San Diego, California, April 1987), p. 1C5
- A.Nassri, M.Heindler: Synchrotron Radiation Loss From Magnetically Confined Fusion Plasmas, Bull. of the APS, Vol. 32, NO.9, Oct. 1987 (work presented at the APS Conference, Division of Plasma Physics, San Diego, November 1987)
- A.Nassri, M.Heindler: Phys. Fluids 31, 95 (1988)

#### DISSERTATION (completed)

- A.Nassri: Synchrotron Radiation Loss From Magnetically Confined Fusion Plasmas, Graz University of Technology, Oct. 1987

FACHBEREICH: PLASMAPHYSICS

MAGNETIC FIELD ANNIHILATION IN THREE-DIMENSIONAL VISCOUS FLOWS

M. HEINDLER

Boundaries such as current layers separating different plasmas and magnetic fields play a major role in space plasma physics and also in laboratory fusion plasma experiments. The physical processes within these regions not only determine the behaviour of the plasma and the fields locally, but also impact the system at large. It is therefore important to find and analyse exact mathematical solutions which can be used to describe boundary processes as well as the interaction with the plasma system as a whole, with a view to applying them to real physical situations, such as the Earth's magnetopause, magnetotail and solar flares.

Sweet (1958) and Parker (1957) were the first to study the configuration consisting of two plasma regions which carry oppositely directed magnetic fields and are separated by a resistive current layer. In a steady state situation, their annihilation model requires that the rate at which the magnetic field lines decay resistively within the current layer is exactly balanced by the rate at which magnetic field lines are transported towards the current layer by the plasma. Sonnerup and Priest (1975) discussed exact analytical solutions for steady state, incompressible, two and three dimensional fluid motions without vorticity, with magnetic field lines which are straight and parallel to the current layer.

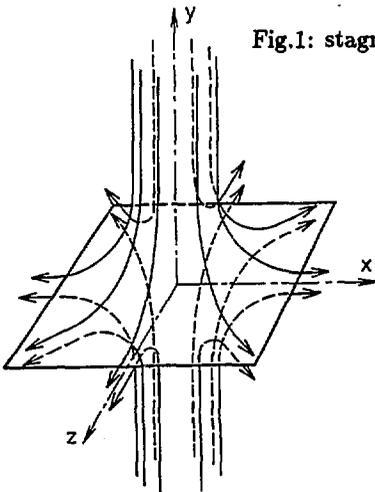


Fig.1: stagnation point flow

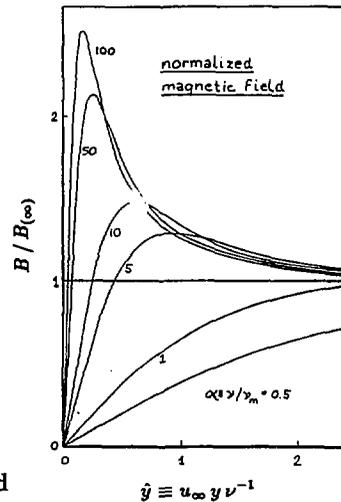


Fig.2: Magnetic Field

In space physics applications, the classical - i.e. collision based - resistivity of plasmas is very low and an anomalous or effective resistivity is to be used instead. Microturbulent activity is a possible source to generate anomalous resistivity; in this case it seems likely that the same source can also lead to enhancements above the classical level of other transport parameters such as viscosity. Values of  $\nu \approx 10^{13} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$  for the kinematic viscosity have been reported, and in the reconnection models values of the same order are required for the magnetic diffusivity  $\nu_m$ . Therefore a MHD treatment of the stagnation flow problem discussed above including both effects of resistivity and viscosity seems highly relevant.

Our investigation continues and compliments the analysis of the Sonnerup and Priest calculations by providing two and three dimensional results which depend both on plasma resistivity and on plasma viscosity and include the presence of vorticity in the flow. So far, the general

formalism has been developed for the assumption  $v = \text{grad} \xi \times e_z - \text{grad} \psi + (zf/w)e_z$  and  $B = \text{grad} \chi \times e_z + B_z e_z$  for the velocity and the magnetic field respectively, where  $\xi, \psi, \chi, w, \psi$ , and  $B_z$  are functions of  $x, y$  and time only. This general formalism has been applied successfully to a stagnation point flow configuration at a neutral magnetic layer parallel to the  $(x, z)$  plane, for which  $\xi = xf(y)$  and  $\psi, \chi, w, \psi$  and  $B_z$  are functions of  $y, t$  only.

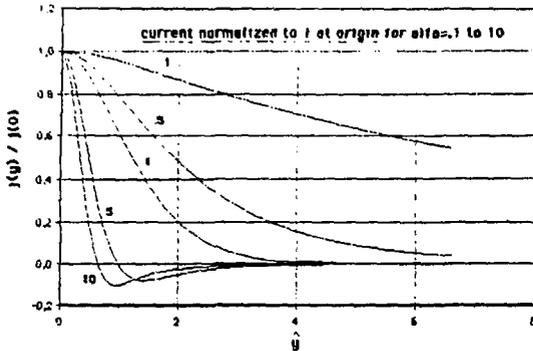


Fig.3: Electric Current

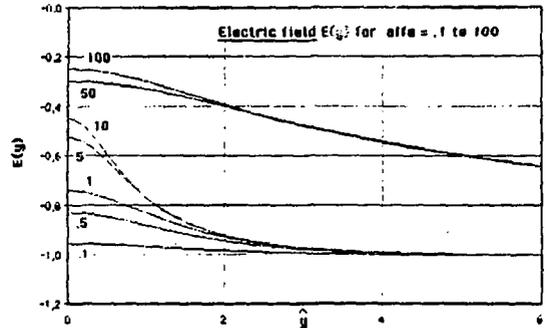


Fig.4: Electric Field

The results obtained for the three-dimensional viscous case show:

- i) There exists a steady state solution which provides for finite asymptotic values for the velocity and the magnetic fields at both sides of the neutral layer, and allows for the connection of the physical properties of the plasma through the current sheath;
- ii) When the magnetic Prandtl number is larger than one, the magnetic field is amplified in the neighbourhood of the neutral layer with respect to its value at infinity. As a consequence, the electric current density shows a local inversion of direction with respect to the centre of the layer.
- iii) Due to the presence of viscous stresses, the plasma pressure is constant on surfaces parallel to the current sheath. The outflow of the plasma along the layer is due to viscous drag, not to a pressure gradient as in the Sweet-Parker concept. This results in a different scaling of the velocity.
- iv) In contrast to the two dimensional case, the z-component of the electric field cannot be constant in three dimensional flows.

COOPERATION WITH:

Institut für Weltraumforschung, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Graz, Austria (H.Biernat, M.Heyn, R.P.Rijnbeek)

Laboratorio de Física del Plasma, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina (G.Gnavi, F.Gratton)

POSTER PRESENTATION

F.T.Gratton, M.Heindler, G.Gnavi: Magnetic Field Annihilation in Three-dimensional Viscous Flows, American Physical Society Topical Conference on Plasma Astrophysics, Sept. 19-23, 1988, Santa Fe, NM, USA

RESEARCH FELLOWSHIPS

M.Heindler: Guest professorship at the University of Buenos Aires, Februar-April 1988

## FACHBEREICH: INTERNE DOSIMETRIE

### INTERNE STRAHLENBELASTUNG DER GRAZER BEVÖLKERUNG NACH DEM REAKTORUNFALL IN TSCHERNOBYL

H. RABITSCH, O. FEENSTRA, HJ. MÜLLER, G. KAHR

In den ersten Wochen nach der Ablagerung der Radionuklide war J-131 das biologisch wichtigste Nuklid. Um Richtwerte für die Schilddrüsenbelastung zu erhalten, wurden Verstorbene aus dem Raum Graz Schilddrüsen entnommen und die bis zum Todestag angesammelte J-131-Aktivität gemessen. Die höchste Schilddrüsendosis ergab sich (unter bestimmten Annahmen) für ein 8jähriges Mädchen zu 10,95 mSv (1095 mrem).

Seit Juli 1986 bestimmen wir auch die Aktivitätskonzentrationen von radioaktivem Cäsium (Cs-134, Cs-137) im Muskelgewebe von Verstorbenen aus dem Raum Graz. Die Verstorbenen gehörten keiner bestimmten sozialen Personengruppe an. In den untersuchten Gewebeproben waren die Cs-137-Aktivitätskonzentrationen vom Herbst 1986 bis zum Jahresende 1987 nahezu konstant (Mittelwert ca. 70 Bq/kg). Im ersten Quartal 1988 zeigt sich eine deutliche Abnahme und im 2. Quartal 1988 lag der Mittelwert bei 26 Bq/kg.

Nimmt man an, daß radioaktives Cäsium und das natürliche Kalium (K-40) homogen im Gesamtkörper verteilt sind, so läßt sich die Jahresäquivalentdosis für den Ganzkörper abschätzen. Mit diesen Annahmen ergaben sich für das erste Beobachtungsjahr 275 µSv (27,5 mrem) durch radioaktives Cäsium (Cs-134 + Cs-137) und für das 2. Beobachtungsjahr 192 µSv (19,2 mrem). Die zusätzliche Äquivalentdosis durch radioaktives Cäsium liegt also in der Größenordnung der internen Belastung durch das natürliche Kalium. Eine genauere Abschätzung der Äquivalentdosis unter Berücksichtigung des Verteilungsfaktors von Cäsium wird noch erfolgen. Die Aktivitätsmessungen werden fortgesetzt.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

Institut für Gerichtliche Medizin (Leiter: Prof. Dr. W. Maresch), Universität Graz

#### PUBLIKATIONEN

- H. Rabitsch, HJ. Müller: "J-131-Aktivität menschlicher Schilddrüsen im Raum Graz", Naturwissenschaften 73, 671 (1986)
- H. Rabitsch, O. Feenstra, HJ. Müller: "Specific Activity of J-131 in Human Thyroids and of Cs-137 in Human Tissues", Proc. of the XIV<sup>th</sup> Regional Congress of IRPA, Kupari-Dubrovnik, Jugoslavia, Sept. 29-Oct. 2, 1987 (+ Vortrag)

#### VORTRÄGE

- O. Feenstra, H. Rabitsch: "Spezifische Aktivität von Cäsium-137 im Muskelgewebe von Leichen", 14. Tagung Süddeutscher Rechtsmediziner, Stuttgart, 29./30. Mai 1987
- O. Feenstra, H. Rabitsch: "La exposición a la radioactividad después del accidente de Chernobyl su importancia para la medicina legal", Congreso Internacional de Medicina Legal y Toxicología; Congreso Internacional de Ecotoxicología, Buenos Aires, Argentina, 12 Abril de 1988
- O. Feenstra, H. Rabitsch: "Medicina legal y exposición a la radioactividad - Consecuencias del accidente nuclear de Chernobyl", Asociación Médica Argentina, Buenos Aires, Argentina, 14 Abril de 1988
- H. Rabitsch, O. Feenstra, K. Oswald: "Measurements to Study the Radiological Impacts of the Chernobyl Reactor Accident in the Area of Graz", First Coordination Meeting on Validation of Models for the Transfer of Radionuclides, International Atomic Energy Agency, Wien, May 2 - 6, 1988

POSTER

- H.Rabitsch, H.J.Müller: J-131-Aktivität menschlicher Schilddrüsen und Cs-137-Aktivität im Muskelgewebe, IV<sup>th</sup> European Congress of IRPA, Salzburg, 1986
- H.Rabitsch, O.Feenstra, H.J.Müller: Strahlenexposition von menschlichem Muskelgewebe durch Cäsium-137, Jahrestagung der ÖPG, Graz, 1987
- H.Rabitsch, O.Feenstra, G.Kahr: Interne radiologische Belastung von menschlichem Muskelgewebe durch radioaktives Cäsium, Jahrestagung der ÖPG, Wien, 1988

FACHBEREICH: RADIONUKLIDTRANSFER

VERTEILUNG VON RADIOAKTIVEM CÄSIUM IM PFAD FUTTER-MILCH-AUSSCHIEDUNGEN VON KOHEN

H.RABITSCH, K.OSWALD

Es wurden die Aktivitäten von Cs-134 und Cs-137 im Futter (Gras, Heu, Silo), in Milch und in den Ausscheidungen von Kühen aus drei landwirtschaftlichen Betrieben unter realistischen Fütterungsbedingungen über einen Zeitraum von mehreren Monaten bestimmt.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen eine strenge Korrelation zwischen den mit dem Futter aufgenommenen Aktivitäten und den Aktivitäten in Milch und in den Ausscheidungen. Für den Transferfaktor Milch - Futter einer "Standardkuh" eines Betriebs ergibt sich für eine stabile Periode ein Mittelwert von 0,006 Tag/kg. Das mit dem Futter aufgenommene Cäsium beeinflusst den Gehalt von Kalium in Milch und in den Ausscheidungen wahrscheinlich nicht. Als Ausscheidungsmuster ergibt sich: Cäsium wird vorwiegend über Feces und Kalium mit dem Urin ausgeschieden. Eine genauere statistische Auswertung der Messungen wird angestrebt.

PUBLIKATION

H.Rabitsch, K.Oswald: "On the Concentration of Radio-Cesium in the Feed-Milk-Excretion Cycle of Cows, Proceedings of the XIV<sup>th</sup> Regional Congress of IRPA, Kupari-Dubrovnik, Jugoslavia, Sept. 29 - Oct. 2, 1987 (+Poster)

## FACHBEREICH: ISOTOPENTECHNIK

### MASSENTRANSFER IN PERMEATIONSKOLONNEN

HJ.MÜLLER, R.WACHTER

Die Anwendung von radioaktiven Isotopen ermöglicht es, den Massentransport in Flüssigkeiten zu erforschen. In einer Permeationskolonne wurde der Zusammenhang zwischen den hydrodynamischen Größen des verwendeten Apparates und dem Stoffaustausch bei der Flüssig/Flüssig-Extraktion untersucht. Mit Hilfe des Tracers Tc-99<sup>m</sup> konnten Verweilszeiten ermittelt werden, die bei Variation von verschiedenen Parametern Aufschluß über die Optimierung des Kolonnenbetriebes brachten.

#### PUBLIKATION

H.J.Bart, R.Wachter, R.Marr, Hj.Müller: "Mass Transfer in a Permeation Column", Journal of Membrane Science, 36, (1988)

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz (Prof.Dipl.Ing.Dr.R.Marr)

## FACHBEREICH: REAKTORPHYSIK + NEUTRONENPHYSIK

### PROJEKT KUGELHAUFENREAKTOR

HJ.MÜLLER, R.D.NEEF<sup>+</sup>, W.NINAUS, K.OSWALD, H.RABITSCH, H.SCHAAL<sup>+</sup>, F.SCHÜRRER, S.SGOURIDIS

Zu den bereits abgeschlossenen Projekten, betreffend den "Wassereinbruch in einen Kugelhaufenreaktor" und den "Untersuchungen über ein von außen nicht beeinflussbares Notabschaltsystem für einen Kugelhaufenreaktor", sind weitere Publikationen erschienen.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

<sup>+</sup>Institut für Reaktorentwicklung, Kernforschungsanlage Jülich, BRD (Prof.Dr.R.Hecker)

#### PUBLIKATIONEN

F.Schürerer, W.Ninaus, K.Oswald, H.Rabitsch, Hj.Müller, R.D.Neef: "Steady State Neutronic Investigations to the Accident of Water Ingress in Systems with Pebble-Bed High-Temperature Gas-Cooled Reactor Fuel", Nucl.Science and Engineering 97 (1987)

S.Sgouridis, F.Schürerer, Hj.Müller, W.Ninaus, K.Oswald, R.D.Neef, H.Schaal: "Neutron Physical Investigations on the Shutdown Effect of Small Boronated Absorbing Spheres for Pebble-Bed High-Temperature Gas-Cooled Reactors", Nucl.Science and Engineering 97 (1987)

Hj.Müller, W.Ninaus, K.Oswald, F.Schürerer, S.Sgouridis, R.D.Neef, H.Schaal: "Zur Wirkung von kleinen Absorberkugeln als Notabschaltsystem für gasgekühlte Kugelhaufenreaktoren", Bericht des Reaktorinstitutes Graz, RIG-21 (in Vorbereitung)

#### GASTWISSENSCHAFTLER

Herr Iray Shahabi Mohammadabadi aus Persien wurde als Stipendiat der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) am Siemens-Argonaut-Reaktor ausgebildet.

## FACHBEREICH: NEUTRONENDOSIMETRIE

### ZUR BESTIMMUNG VON DOSISLEISTUNGEN AN EINEM THERMISCHEN NEUTRONENSTRAHL

J.WLADKOWSKI

In der Neutronendosimetrie liegt die Problematik einerseits in der Erfassung des in den meisten Fällen vorliegenden Neutronenspektrums und andererseits in der damit verbundenen Anwendung des Qualitätsfaktors. Im thermischen Energiebereich liegt der Qualitätsfaktor bei ca. 3, während dieser Faktor im MeV-Bereich einen Wert von ca. 10 erreicht. Die notwendige Verknüpfung dieser beiden Parameter in einem Meßgerät, wenn man das Problem im ersten Schritt nur von der gerätetechnischen Seite betrachtet, ist schwer zu realisieren und spiegelt sich in jedem für diese Zwecke gebauten Meßgerät durch die Schwankungsbreite der Meßergebnisse wieder.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

Institut für Kerntechnik, Unterrichtsreaktor der Technischen Universität Budapest (Doz.Dr.E. Viragh)

#### PUBLIKATIONEN, POSTERPRÄSENTATION

E.Viragh, Hj.Müller: "Sensitivity analysis of rem-counters in small diameter neutron+gamma radiation beams", XIVth Regional Congress of IRPA, Kupari-Dubrovnik (1987); Poster

E.Viragh, Hj.Müller: "REM-SZÁMLÁLOK MŰKÖDÉSE ES GYAKORLATI ALKALMAZÁSA A NEUTRON-DOZIMETRIÁBAN", eingereicht bei Izotóptechnika (1988)

#### ABGESCHLOSSENE DIPLOMARBEIT

J.Wladkowski: "Bestimmung der Dosisleistung an einem thermischen Neutronenstrahl des Argonautreaktors Graz"

## FACHBEREICH: RADIONUKLIDTRANSFER

### RADIONUKLIDE IN LANDWIRTSCHAFTLICHEN BÖDEN

S. MEISEL, P. GRALLER, G. KAHR, W. NINAUS, HJ. MÜLLER

Als hoffentlich einmaliges Ereignis bot der Unfall von Chernobyl doch die Möglichkeit, das bisherige, aus experimentellen Studien gewonnene Wissen über das Verhalten bestimmter Radionuklide in Böden nach einer einmaligen Kontamination auf seine Gültigkeit unter neuerlichen Umwelteinflüssen zu prüfen.

Im Berichtszeitraum wurden von uns ca. 1700 Bodenproben und 400 Bewuchsproben zu je 1 - 4 kg an insgesamt 17 Standorten gezogen und mit einem HPGe-Gamma-Spektroskopiesystem ausgemessen. Der große Probenumfang ergibt sich aus der von uns entwickelten Technik der Probennahme, bei der bereits eine erste Mittelung der natürlich vorliegenden Inhomogenität der Aktivitätsverteilung über eine Fläche von  $4 \times 0.2 \text{ m}^2$  erfolgt. Durch die definierte Lage der Bodenschichten erhält man als direkte Meßgrößen für den Zeitpunkt der Probennahme zusätzlich zur Tiefenverteilung von gammaemittierenden Nukliden auch die Dichte und die Feuchtigkeit einer jeden Bodenschicht bis zu einer Tiefe von 60 cm. Zusätzliche Untersuchungen zur Inhomogenität der Aktivitätsverteilung innerhalb einer Bodenschicht ergeben eine Erklärung für die Divergenz von in der Literatur angegebenen Transferfaktoren.

Die Probennahme erfolgte fast ausschließlich auf oder neben Versuchsböden der steirischen landwirtschaftl. chem. Landesversuchs- und Untersuchungsanstalt und Fachschulen. Wir haben also solche Böden gewählt, für die zumindest eine standardmäßige Bestimmung der Bodenparameter bereits vorlag.

Als kurzfristiger Prozeß interessiert uns die Verlagerung der Kontamination durch die verschiedenen Methoden der Bodenbearbeitung. Für den Transfer von Radionukliden in eine Pflanze mit einer bestimmten Wurzelstruktur ist entscheidend, wo die Pflanze tatsächlich Radioaktivität vorfindet, in welcher Tiefe und mit welchem Grad an Inhomogenität sich die Nuklide in der Krümelstruktur des Bodens verteilen.

Zur Untersuchung des langfristigen Prozesses der Migration des Cs-137 soll das Geschehen der ersten Jahre nach dem Unfall möglichst genau dokumentiert werden, um so eine geeignete Basis für die Bestimmung von Migrationsfaktoren durch eine äquivalente Untersuchung in späteren Jahren zu legen.

Uns war von Anfang an klar, daß die Schwachstelle zur Erlangung von Meßergebnissen mit einer sonst nur durch Laborexperimente erreichbaren Güte, was ja die Voraussetzung für einen sinnvollen Vergleich sein sollte, nicht in der Gammameßtechnik selbst, sondern in der Unvorhersehbarkeit von Fehlern durch eine ungenügend durchdachte oder durchgeführte Probennahme liegt.

Die Einmaligkeit der Vorgänge und die begrenzte Kapazität an Arbeits- und Meßzeit erforderte strategisch geschickt gesetzte Prioritäten:

Schlecht definierte Probennahme ist nicht korrigierbar. Dasselbe gilt für ungenügende Reproduzierbarkeit von Nettoflächen der relativ kurzlebigen Radionuklide durch unzureichende Probenstandardisierung und instabiler oder schlecht justierter Elektronik. Der Absolutfehler einer Aktivitätszuordnung läßt sich hingegen bei sorgfältiger Datenpflege auch noch im nachhinein stufenweise minimieren (siehe auch "Gammaskopie von Umweltproben").

Die Besonderheit unserer Methode liegt darin, nicht nur spezifische Aktivitätsverteilungen zu messen, sondern die Gesamtkontamination sowohl in einem lokalen Verlauf, als auch deren großflächige Mittelung bestimmen zu können, ohne den Einfluß tiefenabhängiger Bodeneigenschaften wegen variierender Tiefenskalen ebenfalls auszugleichen.

Wir halten dies für die Grundvoraussetzung, um überhaupt Teilaspekte in den Modellen für die Ausbreitung von Radionukliden in Böden und deren Aufnahme durch Pflanzen über die Wurzeln auf ihre Konsistenz unter natürlichen Bedingungen untersuchen und bestehende Widersprüche aufklären zu können. Eine begleitende Aktivitätsbestimmung des Bewuchses an den jeweiligen Standorten liefern die dazu relevanten Daten von der Pflanzenseite. Zur späteren Bestimmung weiterer, von der Tiefe abhängiger bodenkundlicher Parameter werden alle gesammelten Bodenproben auch weiterhin aufbewahrt.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

Bundesanstalt für Bodenkultur, Graz (Dr.Eisenhut)

Steir. Landwirtschaftsschule Gleisdorf (Prof. Deutsch, Leiter der Versuchstätigkeit)

Landwirtschaftl.chem.Landesversuchs- und Untersuchungsanstalt der Steiermark (Dr.Kesselring, DI.Puchwein)

#### PUBLIKATIONEN

Meisel S., P.Graller, G.Kahr, W.Ninaus, Hj.Müller: "Distribution and Migration of Artificial Radionuclides in Cultivated Soils of Styria", Proc. of the XIVth Regional Congress of IRPA, Sept./Oct. 1987, Kupari/Dubrovnik, Jugoslavia

Meisel S., P.Graller, G.Kahr, W.Ninaus, Hj.Müller: "Activity in Local Batches of Soil Layers - A Method to investigate the Average Behaviour of Radionuclides in Pasture and Arable Land", eingereicht für IAEA-Proceedings Series

#### VORTRÄGE

Müller Hj., G.Ahamer, S.Meisel, P.Graller, G.Kahr, W.Ninaus: "Measurements of Artificial Radionuclides in the Area of Styria - in Particular the Distribution in Soils", IAEA Research Coordination Meeting of the CRP-VAMP, May 1988, Wien

Müller Hj.: "The Austrian Reaction to Chernobyl", Electrical Power Research Institute, Palo Alto, Kalifornien, Sept. 1988

#### POSTER

Meisel S., P.Graller, G.Kahr, W.Ninaus, Hj.Müller: Distribution and Migration of Artificial Radionuclides in Cultivated Soils of Styria, XIVth Regional Congress of IRPA, Sept./Oct. 1987, Kupari/Dubrovnik, Jugoslavia

Meisel S., P.Graller, G.Kahr, W.Ninaus, Hj.Müller: Verteilung künstlicher Radionuklide in landwirtschaftlich genutzten Böden der Steiermark, Jahrestagung der ÖPG 1987, Graz

Meisel S., P.Graller, G.Kahr, W.Ninaus, Hj.Müller: The Average Behaviour of Radionuclides in Pasture and Arable Land, XIXth Annual Meeting of ESNA (European Society of Nuclear Methods in Agriculture), Aug./Sept.1988, Wien

Meisel S., P.Graller, G.Kahr, W.Ninaus, Hj.Müller: Lokale Schichtserien zur Untersuchung des bodentypischen Verhaltens von Cs-137, Jahrestagung der ÖPG 1988, Wien

#### TAGUNGSBESUCHE

Müller Hj., Meisel S., Oswald K.: Jahrestagung der OESRAD ("Österreich nach Tschernobyl"), 1988, Wien

Hj.Müller: 14th Regional Congress of IRPA, Sept./Oct. 1987, Kupari, Jugoslavia

S.Meisel: IAEA Research Coordination Meeting of the CRP-VAMP, May 1988, Wien

#### LAUFENDE DIPLOMARBEIT

Meisel S.: "Das Langzeitverhalten von Cs-137 in verschiedenen Bodenarten nach Tschernobyl"

## FACHBEREICH: RADIONUKLIDTRANSFER

### TRANSFER VON Cs-137 IN WASSERPFLANZEN

G. AHAMER, S. WINKLER, HJ. MÜLLER

Von entscheidender Bedeutung für zukünftige Computermodelle, welche die Strahlenbelastung der Bevölkerung nach einem nuklearen Zwischenfall abschätzen, sind Werte für den Transferfaktor, welcher den Übergang von Fallout-Cs vom Boden in die Pflanzen angibt.

Im Rahmen dieser Arbeiten werden die Einflußfaktoren auf die Größe des Transferfaktors TF einer genaueren Betrachtung unterzogen. Es sind dies bodenkundliche, chemische, mineralogische sowie pflanzenphysiologische Parameter.

Für die Erlangung einer Datenbasis wurden 26 steirische Gewässer ausgewählt, von welchen seit Sommer 1987 zu drei Jahreszeiten Proben gezogen wurden: 150 Pflanzen von etwa 40 Species wurden an einem Ge(Li)-Meßplatz gammaspektroskopisch auf Cs-137, Cs-134 und K-40 untersucht und dafür mit Hilfe der Cs-Belastung der Sedimente der TF errechnet. Zusätzliche Messungen ermöglichen es, den Transfervorgang im Zusammenhang mit der Variation anderer Einflußgrößen zu sehen: der  $p_H$ -Wert (in KCl-Lösung gemessen), extrahierbares stabiles Cs sowie K (mit einem Atom-Emissionsspektrometer gemessen), das in der Bodenlösung befindliche pflanzenverfügbare Cs-137 und K-40 (mit  $CaCl_2$ -Lösung ausgeschüttelt), der organische Bodenanteil (über den Glühverlust abgeschätzt), die Korngrößenverteilung (durch Siebungen, Sedimentationen und Zentrifugieren ermittelt) und der Gehalt an Mineralien wie Quarz, Dolomit, Plagioklas, Muskovit, Montmorillonit, Chlorit, Kaolinit (durch Röntgendiffraktometrie an Pulver- und Texturpräparaten bestimmt).

Die gefundenen Abhängigkeiten stimmen großteils mit der Literatur überein, sofern schon Untersuchungen vorlagen. Im Sinne einer ökonomischen Erfassung der Verhältnisse durch möglichst wenige, aber signifikante Beschreibungsparameter werden diese nach dem Grad ihrer Einflußnahme auf TF gereiht und im Rahmen des Möglichen auch quantitativ dargestellt.

Eine differenzierte Betrachtung des Vorganges der Cs-Aufnahme ermöglicht eine deutlichere Zuordnung der diversen Einflüsse auf die Teilschritte. Folgende Teilschritte werden angenommen: Cs im Fallout - Resorption des Cs im Boden - Verfügbarkeit des Cs in der Bodenlösung - aufgenommenes Cs in den Pflanzen.

Erste Ergebnisse von Korrelationsanalysen lassen eine Abhängigkeit der Cs-Resorption im Boden von folgenden Parametern erkennen: Falloutmenge, Glühverlust, Muskovitgehalt. Der Transfer vom Boden zur Pflanze wird stark durch die Cs-Aktivität im Boden selbst beeinflusst sowie durch den Gehalt an Montmorillonit und durch den Transferfaktor für K-40. Letzterer Parameter drückt aus, ob die Pflanzenspecies kaliumliebend (und wegen der chemischen Verwandtschaft von Cs und K) auch cäsiumliebend ist.

#### ZUSAMMENARBEIT MIT:

Institut für Pflanzenphysiologie (Leiter: Prof.Dr.G.Heinrich), Universität Graz

Institut für Technische Geologie und Mineralogie (ao.Prof.Dr.H.Kolmer), Technische Universität Graz

Institut für Analytische Chemie, Mikro- und Radiochemie (Doz.Dr.W.Wegscheider, Ing.B.Maichin), Technische Universität Graz

#### POSTERPRÄSENTATIONEN

- G.Ahamer, HJ.Müller: Cs-137 uptake in aquatic vegetation, at the XIX. International Meeting of the European Society of Nuclear Methods in Agriculture (ESNA), Wien, 29. August - 2. September 1988.
- G.Ahamer, HJ.Müller: Der Transfer von Cs-137 in die Teichvegetation der Steiermark, Jahrestagung der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft, Wien, 26.-30. September 1988.

#### VORTRAG

- HJ.Müller: Measurements of artificial radionuclides in the area of Styria, in particular the distribution in soils; First research coordination meeting at the coordinated research program in validation of models for the transfer of radionuclides in terrestrial, urban and aquatic environments: International Atomic Energy Agency, Vienna, May 1988.

#### PUBLIKATIONEN

- G.Ahamer, HJ.Müller, K.Oswald, G.Heinrich, H.Kolmer, K.Klima, F.Pacher: The uptake of radioactive cesium into the aquatic vegetation of Styria/Austria; to be published in an IAEA-report, 1988.

#### LAUFENDE DIPLOMARBEITEN

- G.Ahamer: Der Transfer von radioaktivem Cäsium in die Teichvegetation der Steiermark; im Rahmen des Aufbaustudiums 'Technischer Umweltschutz'.
- S.Winkler: Abhängigkeit des Transferfaktors von pflanzenspezifischen Parametern; im Rahmen des Biologie-Studiums.

## FACHBEREICH: STRAHLENMESZTECHNIK

### GAMMASPEKTROMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN VON UMWELTPROBEN

S. MEISEL, P. GRALLER, G. KAHR, W. NINAUS, K. OSWALD, H. RABITSCH

Durch den rasanten Fortschritt bei der Züchtung von großvolumigen Halbleitereinkristallen und der Entwicklung schneller analoger Schaltungstechnik mit A/D-Wandlung sind mittlerweile PC-gesteuerte Gammaskpektrometriesysteme mit absoluter Nachweiswahrscheinlichkeit im Prozentbereich trotz eines Auflösungsvermögens bei 1 keV der Standard. Obwohl häufig praktiziert, gibt es doch einige Hindernisse, die Aktivitätsbestimmung von Gamma emittierenden Nukliden einfach an den PC zu delegieren. Durchschnittliche Erdproben z.B. enthalten nach Tschernobyl einige hundert bis einige tausend Bq, die sich auf 5 - 15 künstliche und ca. 20 Nuklide der natürlichen Zerfallsreihen verteilen und mit ihren teilweise recht komplexen Zerfallschemata 100 - 200 zum Teil überlappende Peaks im Spektrum erzeugen. Das Resultat sind Gleichungen mit überzähligen Unbekannten, die die gängige Analysesoftware überfordern, sofern sie nicht auf "Resultate um jeden Preis" ausgelegt ist. Um also Gesamtspektren möglichst vollständig auswerten zu können, war als erstes eine vollständige und dem Auswertalgorithmus angepasste Nuklidbibliothek zu erstellen mit besonderer Berücksichtigung der sich durch verschiedene Halbwertszeiten und Kontaminationsgrade verändernden Zusammensetzung der Multiplets. Für die wichtigsten Nuklide mußte außerdem das Verzweigungsverhältnis aller Teillinien der am stärksten auftretenden Kaskadenzerfälle untersucht werden. Dies diente als Grundlage für ein Korrekturprogramm hinsichtlich der Summation durch wahre Koinzidenz, die im Falle unserer Ringschalengeometrie Absolutfehler bis zu 15 % bewirken kann. Zusätzlich zur energieabhängigen Photopeakefficiency benötigt man für diese Korrektur auch die Kenntnis der absoluten Nachweiswahrscheinlichkeit, also inklusive sämtlicher Compton- und Paarbildungsphotonen. Dazu wurde eine Reihe von Standardpräparaten von Einliniennukliden angeschafft, um auch die Energieabhängigkeit der totalen Efficiency bestimmen zu können.

Die Kalibration der jeweiligen Nachweiswahrscheinlichkeiten wird mit wässrigen Lösungen in bestimmter Geometrie durchgeführt. Dies hat den Vorteil der guten Manipulierbarkeit bei der Herstellung der Präparate. Andererseits ist man dadurch gezwungen, jede Abweichung eines bestimmten Probentyps von den üblicherweise verwendeten 1000 ml Kalibrierlösung in def. Geometrie zu korrigieren. Die Standardabweichung in den geometrischen Verhältnissen der von uns mehrfach verwendeten Einwegbecher (um 2 %) verursacht wegen der quadratischen Abhängigkeit der Efficiency von Distanzen Fehler bis zu 5 %. Diese Unsicherheit in der Aktivitätsbestimmung konnte durch Einschränkung zweier Becherparameter auf  $\pm 0.3$  mm weitgehend eliminiert werden. Die Unsicherheit durch die von Meßprobe zu Meßprobe variierende Füllhöhe wurde experimentell auch in ihrer Energieabhängigkeit bestimmt und erwies sich mit 98 % Sicherheit als linear mit einer Steigung von ca. 1.5 %/mm.

Die erwähnten Anstrengungen zur Standardisierung der Meßtechnik ergeben zusammen mit der standardisierten Probenaufbereitung eine Reproduzierbarkeit der Nettofläche eines Photopeaks von kleiner als 1.5 %. Dies gilt für mehrere Proben aus dem gleichen Ausgangsmaterial und verschiedenen, aber gleich verdichteten, Füllungen in mehreren der selektierten Meßbecher. Daraus folgt mit den trotz der Korrekturen verbleibenden Fehlern für die Bestimmung von Aktivitäten im Bq-Bereich eine relative Unsicherheit von ca. 5 % für Proben einer Probenkategorie.

Als letzter, systematischer Fehler verbleibt die durch Selbstabsorption in der Probe verursachte Schwächung der den Detektor tatsächlich erreichenden Gammastrahlung. Wir versuchen, den von der Probendichte stammenden Effekt von dem durch unterschiedliche Elementzusammen-

setzungen verursachten Effekt zu trennen. Vorläufiges Ziel ist eine Linearkombination zweier Korrekturen, wobei die Massenzahlabhängigkeit der Selbstabsorption nur energieabhängig für jeweils eine Probenklasse durch Tracermessungen bestimmt wird. Die Dichteabhängigkeit in Verbindung mit der Geometriekorrektur wird für jede Messung innerhalb der automatischen Serienauswertung neu errechnet.

Bei einem Auswertenniveau mit ca. 30 Input- und 60 Outputparametern sind Einzelauswertungen auf die Dauer nur mehr für Kontroll- und Testzwecke tragbar, ohne den eigentlichen Sinn der Arbeit aus den Augen zu verlieren. Sukzessive wurde von uns daher eine Automatisierung der eigentlichen Spektrenauswertung inklusive aller implementierten Korrekturen entwickelt, sodaß wir heute in der Lage sind, eine beliebige Spektrenzahl in einem Arbeitsgang zu bearbeiten und bei weiteren Verbesserungen des Auswertemodus schnell und übersichtlich verbesserte Ergebnisse zu erzielen.

## LEHRVERANSTALTUNGEN, EXKURSIONEN, KURSE, FÜHRUNGEN

### ALLGEMEINE LEHRVERANSTALTUNGEN

(Angaben in Klammer: Semesterwochenstunden, VO = Vorlesung, UE = Übung, PJ = Projektstudie,  
LU = Laborübungen, LK = für Lehramtskandidaten)

#### W.BULLA:

Statistische Thermodynamik	(2 VO)	
Mathem. Fragen der Quantenmechanik	(2 VO)	
Mathem. Fragen der Quantenmechanik	(1 UE)	(Unterkofler)
Mathem. Behandlung der Wellenmechanik	(1 VO)	
Privatissimum	(5 PV)	
Mathem. Struktur der klass. Mechanik	(2 VO)	
Durchführung v. wiss. Arbeiten	(35 DW)	

#### J.GÖTSCHL/M.HEINDLER:

Soziale Technik 1	(2 SE)	
Soziale Technik 2	(2 SE)	(gemeins. mit Ohler, Samlicki, Stein)

#### M.HEINDLER:

Wellenmechanik	(2 VO)	
Arbeitsgemeinschaft Wellenmechanik	(2 UE)	(Unterkofler, Kügerl)
Quantenmechanik LK	(3 VO)	
Plasmaphysik I	(2 VO)	
Fusionsphysik I	(2 VO)	
Nukleare Energiesysteme 1	(2 VO)	
Nukleare Energiesysteme 2	(2 VO)	
Projektstudien Energiephysik/EDV I P,TM	(2 PJ)	
Projektstudien Energiephysik/EDV IIP,TM	(2 PJ)	
Privatissimum	(5 PV)	
Durchführung v. wiss. Arbeiten	(35 DW)	

#### M.HEYN:

Plasmaturbulenz 1	(2 VO)	
Plasmaturbulenz 2	(2 VO)	

#### W.KERNBICHLER:

Fusionsphysik II	(2 VO)	
------------------	--------	--

#### E.LEDINEGG:

Feldphysik 1	(2 VO)	
Feldphysik 2	(2 VO)	
Allgem.Relativitätstheorie 1	(1 VO)	
Allgem.Relativitätstheorie 2	(1 VO)	
Quantenelektrodynamik 1	(2 VO)	
Quantenelektrodynamik 2	(2 VO)	
Liesche Gruppen u. Elementarteilchen	(2 VO)	
Durchführung v. wiss. Arbeiten	(35 DW)	

#### Hj.MÜLLER:

Reaktormesstechnik 1, P	(4 LU)	
Reaktormesstechnik 2, P	(4 LU)	
Reaktormesstechnik E	(3 LU)	
Reaktortechnik E	(2 VO)	
Strahlenschutz	(2 VO)	
Teilchenbeschleuniger	(1 VO)	
Elektr. Messtechnik 3	(2 VO, 2 LU)	

Privatissimum	(5 PV)	
Durchführung v. wiss. Arbeiten	(35 DW)	
A.NASSRI:		
Plasmaphysik II	(2 VO)	
W.NINAUS:		
Elektronik 1	(2 VO)	
Elektronik 2	(1 VO)	
Elektronik, Labor	(4 LU)	
W.PAPOUSEK:		
Elektrostatik	(2 VO, 1 UE)	
Vektor- und Tensorrechnung 1	(2 VO, 1 UE)	
Vektor- und Tensorrechnung 2	(2 VO, 1 UE)	
Spezielle Relativitätstheorie	(2 VO)	
Elektrodynamik LK	(3 VO)	
Elektromagnet. Wellenausbreitung 1	(2 VO)	
Elektromagnet. Wellenausbreitung 2	(2 VO)	
Privatissimum	(5 PV)	
Durchführung v. wiss. Arbeiten	(35 DW)	
H.RABITSCH:		
Physik des Strahlungstransportes	(2 VO, 1 UE)	
Biolog. Wirkungen ionisierender Strahlen	(1 VO)	
E.SCHACHINGER:		
Quantenmechanik	(4 VO, 1 UE)	
Theoret. Festkörperphysik I	(2 VO)	mit H.Sormann
Theoret. Festkörperphysik II	(2 VO)	mit H.Sormann
Greensche Funktionen i.d.Festkörperph.	(2 VO)	
Theorie d. Supraleitung	(2 VO)	
Relativist. Quantenmechanik	(2 VO)	
Supraleitung E	(2 VO)	
Privatissimum	(5 PV)	
Durchführung v. wiss. Arbeiten	(35 DW)	
B.SCHNIZER:		
Theoretische Physik EF	(2 VO)	
Theoretische Physik EF	(1 UE)	(G.Kügerl)
Quantenmechanik	(4 VO)	
Quantenmechanik	(1 UE)	(K.Unterkofler)
Technik d.Greenschen Funktion	(2 VO, 1 UE)	
Analytische Mechanik 1	(2 VO)	
Analytische Mechanik 1	(1 UE)	(G.Kügerl)
Analytische Mechanik 2	(2 VO)	
Analytische Mechanik 2	(1 UE)	(K.Unterkofler)
Theoretische Physik LK	(2 VO, 1 UE)	
Privatissimum	(5 PV)	
Durchführung v. wiss. Arbeiten	(35 DW)	
B.SCHNIZER, W.PAPOUSEK, W.BULLA, E.SCHACHINGER, Hj.MÜLLER, M.HEINDLER, F.SCHÜRRER:		
Theoretische Physik, Seminar 1	(2 SE)	
Theoretische Physik, Seminar 2	(2 SE)	
K.SCHÖPF:		
Physik der Fusionsplasmen 1	(1 VO)	
Physik der Fusionsplasmen 2	(1 VO)	

F.SCHÜRRER:

Elektrodynamik	(4 VO, 1 UE)
Lineare Gleichungen	(2 VO, 1 UE)
Privatissimum	(5 PV)
Durchführung v. wiss. Arbeiten	(35 DW)

EXKURSION

Vom 09. - 15. November 1986 wurde eine Exkursion für Physiker (42 Teilnehmer) durchgeführt.

Es wurden folgende Forschungszentren besichtigt:

- CERN und Institut für Festkörperphysik der Universität, Genf
- Plasmaphysiklabor, Tokamak und Lotus der Technischen Universität Lausanne
- Schweizer Institut für Nuklearforschung (SIN), Villigen
- Max-Planck-Institut für Festkörperforschung
- Hochfeld-Magnetlabor
- Institut Laue-Langevin (Hochflußreaktor)
- CNRS und Forschungszentrum für Tieftemperatur  
(alle in Grenoble)

KURSE

Hj.Müller, W.Ninaus, H.Rabitsch, G.Kahr, K.Oswald (Reaktorinstitut), D.Priesching (Arbeitsinspektorat Graz) in Zusammenarbeit mit dem Wirtschaftsförderungsinstitut (WIFI) Graz:  
"Strahlenschutzkurs für nichtmedizinische Anlagen nach der Österreichischen Strahlenschutzverordnung"; abgehalten in den Jahren 1987, 1988 in Graz

FÜHRUNGEN

Im Berichtszeitraum informierten sich 325 Besucher (Studenten, Maturanten, Gäste) über den Versuchsreaktor und die modernen Methoden der Strahlenmeßtechnik und Aktivitätsbestimmung.