

2. Berichte über die wissenschaftliche Tätigkeit der Forschungsbereiche

2.1 Neutronen- und Quantenphysik

Ständiges wissenschaftliches Personal: G. Badurek, E. Jericha, J. Summhammer, M. Zawisky

Projektbezogenes wissenschaftliches Personal: K. Durstberger, S. Filipp, Y. Hasegawa, J. Klepp, H. Lemmel, R. Loidl, S. Mayer, S. Sponar, J. Springer, G. Sulyok, H. Tatlisu

Die Arbeiten auf dem Gebiet der Neutronenquantenoptik konzentrierten sich auf topologische Phasen und Quantendekohärenz. Beide Effekte bilden eine neuartige Basis für die fortgeschrittene Quantenkommunikation, da geometrische Phasen beträchtlich unempfindlicher gegenüber jeglicher Art von Fluktuationen und Dissipationseffekten erscheinen. Dies berührt auch die Frage, wie eine klassische Welt aus der Quantenstruktur der Natur heraustritt. Messungen mit dem Neutroneninterferometer (ILL Grenoble), dem Polarimeter (ATI) sowie mit ultrakalten Neutronen (UCN) ermöglichten auf experimenteller Seite, tiefere Einblicke in diese Phänomene zu erhalten. Ein Highlight der Polarimeterexperimente war der Nachweis der Verletzung einer Bell-artigen Ungleichung, die zwischen klassischem und quantenmechanischem Verhalten unterscheiden lässt, indem Spin- und Energiefreiheitsgrade eines Strahls polarisierter Neutronen korreliert werden. Es wurde eine bis zu diesem Zeitpunkt unerreichte Abweichung von der klassisch erwarteten Größe $S \leq 2$ erhalten, als experimentell der Wert $S = 2.555 \pm 0.005$ gefunden wurde. Darüber hinaus konnte bestätigt werden, dass geometrische Phasen im Allgemeinen tatsächlich nicht additiv sind, außer im Fall reiner Quantenzustände. Neutroneninterferometrie ermöglichte auch die Realisierung einer Dreifachverschränkung von Teilchenwellenquantenzuständen (sogenannten GHZ- oder Greenberger-Horne-Zeilinger-Zuständen) und damit eine Ungleichung zu bestätigen, die aus der Quantenkontextualität resultiert, einem

Phänomen, das der klassischen Vorstellung vollständig widerspricht. In Zusammenarbeit mit Biologen der Universität Salzburg wurde die Quantenverschränkung von Ionen numerisch untersucht, die für die Signalprozesse in neuronalen Netzen verantwortlich sind. Auch hier konnte der Unterschied zwischen klassischem und quantenmechanischen Verhalten deutlich herausgearbeitet werden. Das neue Doktorandenprogramm „Complex Quantum Systems“ wird das Niveau der Ausbildung und Forschung in diesem Gebiet noch weiter verbessern.

Die hochpräzise Messung der Streulänge von ^{13}C mit dem Neutroneninterferometer erbrachte einen Wert von 6.542 ± 0.003 fm und zeigte eine deutliche Abweichung vom bisher tabellierten und problematisch gewordenen Standardwert von 6.19 ± 0.09 fm. Im Rahmen des Projekts zur Neutron-Elektron-Wechselwirkung wurde ein 2-Kreis/6-Platten Interferometer von bislang unerreichter Größe (23.5 cm) entwickelt und erfolgreich getestet.

Im Rahmen der europäischen Neutronen-Infrastrukturinitiative (NMI3) entwickelten wir das Konzept der verlustfreien dynamischen Neutronenpolarisation mit dem Ziel der wissenschaftlichen Solidität und der technologischen Machbarkeit weiter. Ein weiteres Projekt in NMI3 beschäftigte sich mit der Entwicklung neuer Algorithmen für die Neutronenspin-tomographie. Standardabsorptionstomographie kann auch routinemäßig am kleinen Wiener Forschungsreaktor durchgeführt werden und erhielt durch Verbesserung des Instruments einen zusätzlichen Schub. Die räumliche Auflösung des digitalen Detektionssystems wurde unter Verwendung von Image Plates auf $40 \mu\text{m}$ verbessert. Eine Vielzahl von Anwendungen wie Geologie, Steinfestigung und Studien von Textilfasern oder Bor-legierten Stählen konnten bereits von der verbesserten Auflösung und Detektorsensitivität profitieren.

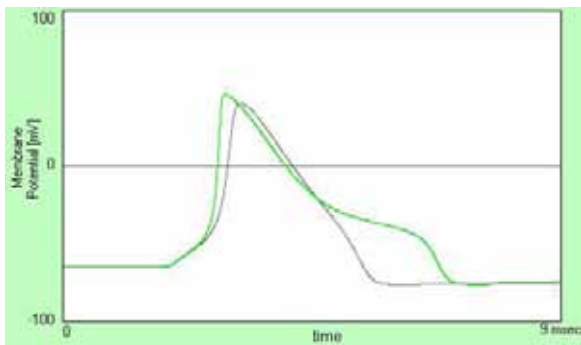
Die Ultrakleinwinkelstreuung (USANS) der Neutroneninterferometeranlage am ILL wurde in Kooperation mit australischen und indischen Kollegen für Untersu-

chungen unterschiedlicher Mineralien und Hydratationseffekte genützt. Messungen mit Siliziumphasengittern, die durch reaktives Ionenätzen am ZMNS der TU hergestellt wurden, ermöglichten einen Vergleich der USANS-Methode mit der verwandten Spin-Echo-Kleinwinkelstreuungsmethode, die an der TU Delft entwickelt wird.

Eine weitere Initiative beschäftigt sich mit einem Phasenraumtransformator für Neutronen, bei dem die hohe Phasenraumdichte ultrakalter Neutronen über Bragg-Reflexion an schnell rotierenden Kristallen zu höheren Neutronenenergien verschoben wird. In diesem Zusammenhang werden monochromatische Strahlen kalter Neutronen mit unvergleichlich großer Intensität vorhergesagt.

Zusätzlich wurde ein neues Labor für die Entwicklung von Solarzellen eingerichtet, das Serviceleistungen für die Industrie anbieten kann wie z.B. die elektronenphysikalische Charakterisierung von Siliziumwafern. Im Dezember 2007 nahm die erste österreichische Solarzellenfabrik den Betrieb auf, deren Prozesstechnologie am Atominstitut entwickelt und zum Teil auch getestet wurde.

Experimente am CERN im Rahmen der multinationalen n_TOF Kooperation lieferten eine Vielzahl von Kerndaten, die für das Design von Anlagen zur Transmutation langlebigen radioaktiven Abfalls sowie für die astrophysikalische Untersuchung der Elementhäufigkeiten im Universum von unschätzbarem Wert sind.



Klassisches (schwarz) und quantenmechanisch korrigiertes (grün) Signal an einem Punkt eines Axons. Der raschere Anstieg des quantenmechanischen Modells deckt sich mit empirischen Befunden.

2.2 Strahlenphysikalische Analytik und Radiochemie

Ständiges wissenschaftliches Personal: M. Bichler, S. Ismail, C. Strelt

Projektbezogenes wissenschaftliches Personal: P. Kregsamer, F. Meirer, G. Steinhäuser, J. Sterba, P. Wobrauschek, N. Zöger

Die wissenschaftliche Entwicklung der Arbeitsgruppe „Röntgenphysik“ wurde in den letzten 3 Jahren von 4 Projekten getragen. Im Rahmen eines FWF Projekts über die Anwendung von SR-TXRF (Synchrotronstrahlungsinduzierter Totalreflexionsröntgen-fluoreszenzanalyse), durchgeführt am Hasylab mit internationalen Kooperationspartnern, wird schwerpunktmäßig die Anwendung von Absorptionsspektroskopie im Spurenelementbereich zur chemischen Speziation untersucht. Das EU-Projekt ANNA („Analytical Network for Nanotechnology“) ist dem Aufbau eines akkreditierten Labors für TXRF zur Waferoberflächenuntersuchung gewidmet, weiters der Verbesserung der Nachweisempfindlichkeit für leichte Elemente sowie der Charakterisierung von oberflächennahen Tiefenprofilen mit XRF unter streifendem Einfall. Durch ein weiteres FWF Projekt gefördert, wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Osteologie und dem Institut für Synchrotronstrahlung in Karlsruhe Untersuchungen der Pb Verteilung an Gelenkknöcheln und die Bestimmung ihrer chemischen Bindung durchgeführt. Durch ein „Innovatives Projekt“ der TU Wien konnte ein Mikroanalyse Messplatz im Röntgenlabor aufgebaut werden, der die Bestimmung auch der leichten Elemente bis zum Kohlenstoff orts aufgelöst ermöglicht. Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der IAEA und dem Kunsthistorischen Museum wurde ein portables XRF Spektrometer zur zerstörungsfreien Analyse von Kunstobjekten entwickelt, mit dem auch die leichten Elemente bis Na gemessen werden können. Durch ein Sonderprogramm der TU für das ATI konnte ein kommerzielles EDXRF Spektrometer angeschafft werden. 2005 und 2007 wurde die NESY European Winter School for Research on Neutron and Synchrotron Radiation Facilities auf der Planeralm durchgeführt.



Team des Forschungsbereichs Strahlenphysikalische Analytik und Radiochemie.

Die Arbeiten der Arbeitsgruppe wurden mit 3 „Best Poster Awards“ der Denver X-ray Conference ausgezeichnet, Peter Wobrauschek bekam dort für sein Lebenswerk den Birks Award 2006.

In der Arbeitsgruppe „*Radiochemie*“ wird chemisch-analytische Forschungsarbeit geleistet und das richtige und verantwortungsbewusste Arbeiten mit radioaktiven Stoffen gelehrt. Neben dem wichtigsten Standbein, der Neutronenaktivierungsanalyse, zählen auch die Herstellung und der Einsatz von radioaktiven Tracern und die Messung von Radioaktivität in Umweltproben zu unserem Repertoire. Einige ausgewählte Beispiele sollen die Bandbreite verdeutlichen. Die Neubestimmung der Halbwertszeiten der geochronologisch bedeutenden Radionuklide Hf-182 und Hf-183 sowie der Wirkungsquerschnitte für den Neutroneneinfang sind Beispiele für klassisch-physikalische Grundlagenforschung. In diesem Zusammenhang wurde auch ein Verfahren für die quantitative Abtrennung des radioaktiven Zerfallsproduktes von Hf-182, nämlich Ta-182, durch Flüssig-Flüssig-Extraktion als Heptafluorotantalat entwickelt. Im Rahmen des Spezialforschungsbereichs SCIEM2000 wurden in den letzten Jahren über 400 archäologische Fundstücke analysiert und anhand

ihrer Zusammensetzung ihrem Herkunftsort zugeordnet. Eine klassische radiochemische Methode ist die Traceranalyse, die besonders in den Life Sciences große Bedeutung erlangt hat. Mit Hilfe dieser Technik konnte erstmalig gezeigt werden, dass fleischfressende Pflanzen aus ihren Beutetieren Kalium, Eisen und Mangan aufnehmen. Die radioaktiven Tracer wurden durch Aktivierung im TRIGA Mark II Reaktor hergestellt. Der Nachweis von Radioaktivität in Umweltproben hat einen besonderen Stellenwert in unserem Forschungsspektrum. Das Probenmaterial selbst kann nahezu beliebiger Zusammensetzung sein, das Spektrum reicht von Lebensmitteln über Bodenproben und Baustoffe bis zu Edelsteinen. Grosse Aufmerksamkeit wurde auch der analysetechnischen Neu- und Weiterentwicklung der automatischen Aktivierungsanalysenanlage gewidmet, die unter anderem auch in einer Kooperation mit der Abteilung Radiochemie am Münchner Forschungsreaktor FRM II eingesetzt wird.

Einer der Hauptschwerpunkte der Arbeitsgruppe „*Nukleare Chemie und Aktivierungsanalyse*“ ist die Entwicklung und Modernisierung von Instrumenten, die für vollautomatische Neutronenaktivierungsanalyse erforderlich sind. Die IAEA erteilte

daher den Auftrag, ein preiswertes und vollständiges pneumatisches Rohrpostsystem für Kurzzeitaktivierungsanalyse zu entwickeln und anzufertigen. Das System wird in einem nuklearanalytischen Labor eingesetzt, welches von der IAEA in Kuba errichtet wurde. Im Rahmen dieses Projekts wurden ein Softwarepaket, ein Steuerungssystem und geeignete Probenbehälter entwickelt, um optimale und effiziente vollautomatische Bestrahlungs- und messanalytische Abläufe zu ermöglichen. Ferner wurde ein kubanischer Wissenschaftler auf dem Gebiet der Kurzzeitaktivierungsanalyse ausgebildet. Um die Zusammenarbeit zwischen der IAEA und der TU zu verstärken, wurden namhafte Wissenschaftler und Experten von den IAEA Laboratorien, Seibersdorf, eingeladen, um im Rahmen von technischen Seminaren ihre Fachkenntnisse auf dem Gebiet der Nukleartechnik und Umweltanalytik unseren Studierenden zu vermitteln.

2.3 Strahlenphysik, Strahlenschutz und Nukleare Messtechnik

Ständiges wissenschaftliches Personal: H. Böck, M. Hajek, M. Tschurlovits, M. Villa
Projektbezogenes wissenschaftliches Personal: R. Bergmann, S. Karimzadeh, A. Musilek, L. Teymournia, N. Vana

Arbeitsgruppe „Dosimetrie, Strahlenschutz und Archäometrie“. Grundlegende Arbeiten zur biologischen Wirkung schwerer geladener Teilchen- und Neutronenstrahlung ließen erkennen, dass das Auftreten von strahlenbiologischen Endpunkten und die interzelluläre Signalübertragung in ähnlicher Weise mit der Ionisationsdichte korreliert sind wie inhärente Eigenschaften der Thermolumineszenz (TL)-Ausheizkurve. Diese Erkenntnis wurde angewandt, um im Rahmen eines Experimentes der Europäischen Weltraumagentur (ESA) die Verteilung der biologisch relevanten Dosis durch kosmische Strahlung innerhalb des anthropomorphen Phantomkörpers Matroschka an Bord der Internationalen Raumstation (ISS) zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurde der Phantomtorso mit mehr als 6.000 aktiven und passiven Strahlungssensoren be-

stückt. Von den Ergebnissen werden entscheidende Verbesserungen für die Abschätzung des Strahlenrisikos von Astronauten während zukünftiger Langzeitaufenthalte im Weltraum erwartet. Zur Erfassung der Strahlenexposition des fliegenden Personals wurde ein Dosimeter im Kreditkartenformat (DOSFLIP) entwickelt und in Kooperation mit Tyrolean Airways in einem halbjährigen Pilotversuch erfolgreich getestet. Auf der Basis optisch stimulierter Lumineszenz (OSL) wurde ein Detektorsystem zum Nachweis solarer UV-Strahlung entwickelt. Die dafür konzipierte OSL-Ausleseanlage konnte auch im Bereich der archäologischen und geologischen Altersbestimmung eingesetzt werden.

In der Arbeitsgruppe *„Strahlenschutz und Radioökologie“* beschäftigten sich Arbeiten im Bereich des Strahlenschutzes mit rechnerischen und experimentellen Arbeiten über Verfahren für Metrologie und Ortung von Strahlenquellen, Validierung von Verfahren zur Messung von Spaltedelgasen, Herstellung und Metrologie von radioaktiven Stoffen für klinisch-pharmakologische Anwendungen, Dosisbestimmung bei medizinischer Exposition, Planungen zur Beherrschung von radiologischen Unfallszenarios durch Erfassung der Modellvalidierung der Variabilität der Parameter durch Monte Carlo Verfahren sowie Risikokommunikation für ionisierende Strahlung.

Der Schwerpunkt der Gruppe *„Medizinische Anwendungen der ionisierenden Strahlung“* liegt in der Evaluierung der Auswirkung unterschiedlicher Strahlenarten auf die Tumorabdeckung und die Beeinflussung des Normalgewebes unter Berücksichtigung der Organbeweglichkeit, sowie in der Einführung und Evaluierung neuer Techniken und Dosismessgeräte in den klinischen Betrieb.

Arbeitsgruppe „Nukleare Messtechnik“. Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten in Kooperation mit der IAEO auf dem Gebiet der Weiterentwicklung von Software und Hardware für Geräte zur Spaltstoff-Überwachung und zur Verhinderung von Nuklearschmuggel fortgesetzt und in mehreren Diplomarbeiten dokumentiert. Ein weiterer Schwerpunkt war die Untersuchung der Aktivierung des Abschirmbetons des TRIGA Reaktors im Hin-



Team des Forschungsbereichs Strahlenphysik, Strahlenschutz und Nukleare Messtechnik.

blick auf einen in der Zukunft möglichen Abbau des Reaktors. Auch diese Untersuchungen resultierten in mehreren Projekt- und Diplomarbeiten. Weitere Arbeiten in Zusammenarbeit mit ARCS Seibersdorf beschäftigten sich mit der Erstellung eines Bodenkontaminationskatasters und der Untersuchung der Migration von Radionuklid im Erdboden. Auch ein „Decision Support Program for first Responders“ in Evakuierungsfällen wurde erstellt und an Hand von Daten über einen fiktiven Brand im AKH Wien getestet. Darüber hinaus besuchten im Berichtszeitraum jährlich jeweils ca. 35 Studierende jeweils die „Praktischen Übungen am Reaktor“ sowie das „Praktikum aus Reaktorinstrumentierung“, was einer Zunahme seit 1997 von ca. 300% entspricht. Diese Übungen wurden nicht nur für Studierende der TU Wien abgehalten, sondern auch auf Vertragsbasis für solche der University of Manchester sowie für Personal der Kernkraftwerke Bohunice und Mohovce (Slowakei). Weiters erfolgten jährliche Kurse im Rahmen des „Eugene Wigner Kurses“, einer Kooperation zwischen der TU Wien, der TU Bratislava, der TU Prag und der TU Budapest.

2.4 Tieftemperaturphysik und Supraleitung

Ständiges wissenschaftliches Personal: M. Eisterer, F.M. Sauerzopf, H.W. Weber
 Projektbezogenes wissenschaftliches Personal: M. Chudy, H. Fillunger, R. Fuger, F. Hengstberger, N. Hörhager, K. Humer, A. Kortyka, M. Kulich, R.K. Maix, R. Prokopic, K.R. Schöppl, A. Vostner, T. Withnell, M. Zehetmayer

Die wissenschaftlichen Arbeiten dieses Forschungsbereichs haben sich zunehmend von grundlagen- zu anwendungsorientierten Aspekten verschoben, was durchaus im Einklang mit der zunehmenden Reife von Hochtemperatursupraleitern (HTS) und auch des „neuen“ Supraleiters MgB_2 für Anwendungen steht. Aus der Vielzahl der bearbeiteten Themenstellungen sollen drei herausgegriffen werden, wie folgt.

Magnesiumdiborid. Die Tatsache, dass sich MgB_2 als „lupenreiner“ Zweiband-Supraleiter erwiesen hat, ermöglicht erstmals das Studium solcher Systeme, insbesondere auch hinsichtlich der magnetischen Eigenschaften im Mischzustand. Die Untersuchung von MgB_2 Einkristallen (in Kooperation mit der ETH Zürich) hat zudem gezeigt, dass diese Kristalle praktisch defektfrei wachsen, d.h. also, dass

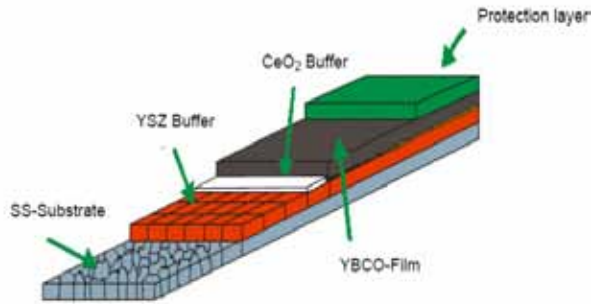


Team des Forschungsbereichs Tieftemperaturphysik und Supraleitung.

auch der ungestörte reversible Mischzustand dem Experiment zugänglich ist. Diese Tatsache wurde in einer Serie von fundamentalen Untersuchungen mit SQUID und Vibrationsmagnetometern zur vollständigen Charakterisierung des Materials genutzt, wobei auch die hohe Anisotropie (Feld parallel bzw. senkrecht zur Basisebene) erfasst werden konnte. Bestrahlung mit Neutronen zur Einbringung von Punktdefekten oder B-Substitution durch Kohlenstoffdotierung erlauben zudem eine signifikante Variation der Materialeigenschaften, insbesondere eine starke Reduktion der Anisotropie als Folge der eingebrachten Streuzentren, so dass eine breite Datenbasis für die Mischzustandsparameter geschaffen werden konnte. Dies erwies sich als essentiell für die Analyse des Suprastromtransports in polykristallinen Einkern- oder Multifilamentleitern aus MgB_2 , die im Wesentlichen im Rahmen der Perkolations- theorie von Eisterer et al. (PRL 90 – 2003) erfolgt, nach der die Anisotropie über die willkürliche Orientierung der Körner zur Magnetfeldrichtung für die kritische Stromdichte J_c ausschlaggebend ist. Aufbauend auf diesen Ideen kann eine Vielzahl von experimentellen Daten, auch zur Feldabhängigkeit von J_c sowie der Volumsverankerungskraft, oder zur Temperaturabhängigkeit des elektrischen Wider-

stands im normal leitenden Zustand verstanden werden.

Coated Conductors. Die Entwicklung dieser Leiterform auf Basis des HTS Y-Ba-Cu-O hat im Berichtszeitraum weltweit zu gewaltigen Fortschritten geführt, wobei heute bereits hoch texturierte Leiter in Längen von bis zu ca. 1.000 m mit Stromtragfähigkeiten bis zu etwa 500 A pro cm Bandbreite kommerziell hergestellt werden können. In diesem Umfeld haben sich für uns 2 Schwerpunkte ergeben, nämlich erstens die Untersuchung von derartigen „kommerziell“ erhältlichen Leitern hinsichtlich ihres möglichen Einsatzes in Fusionsmagneten der Zukunft (Strahlenbeständigkeit, „Temperaturfenster“, Magnetfeldstärke und kritische Stromdichten), und zweitens die Übertragung der neu entwickelten Magnetoscan Technik auf die Charakterisierung von „langen“ Leiterstücken (derzeit bis etwa 25 cm). Hier zeigte sich, dank ausgedehnter theoretischer Betrachtungen zur Entstehung des Magnetoscan Signals, dass ein einfacher Scan entlang der Mitte des Bandes genügt, um die lokale kritische Stromdichte zu berechnen (M. Zehetmayer et al., APL 90 – 2007). Damit steht im Prinzip eine Technik zur Verfügung, die es gestatten könnte, direkt im Zuge des Produktionsprozesses die Qualität der hergestellten

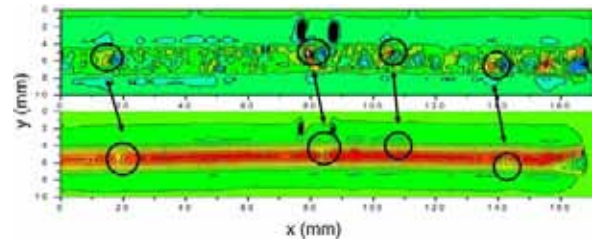


Schematischer Aufbau eines „Coated Conductors“ auf untexturiertem Substrat mit texturierter YSZ Pufferschicht (European High Temperature Superconductors, Alzenau).

Schicht anhand der wichtigsten Kenngröße, eben J_c , zu bestimmen und so zu einer substantiellen Verbesserung der (sehr teuren) Herstellung zu gelangen.

Isolation für Fusionsmagnete. Unsere Arbeiten im Rahmen des EURATOM Programms zur Entwicklung und Charakterisierung neuer Isolationssysteme für Fusionsmagnete sind im Berichtszeitraum in ein entscheidendes Stadium getreten. Alle Untersuchungen haben belegt, dass glasfaserverstärkte Kunststoffe aus Mischungen von Zyanatester und Epoxidharz den Anforderungen an die Isolation supraleitender Magnete in Fusionsanlagen voll entsprechen. Damit kann sicher gestellt werden, dass die Magnete, die ja die „teuersten“ Einzelkomponenten einer Fusionsanlage sind, bis zur geplanten Anlagenlebensdauer oder darüber hinaus sicher betrieben werden können. Als Konsequenz wurde in Europa ein Auftrag zur Fertigung eines industriellen „Mock-ups“ erteilt, um die Herstellungsvorgänge bei der Vakuumimprägnierung von großen Spulen auf industrieller Skala zu erproben. Parallel dazu wird auf internationaler Ebene (ITER Organisation) mit allen ITER Partnern die Einführung des neuen Systems für die ITER Magnete koordiniert, wobei das ATI mit weiteren Kontrakten zur Spezifizierung und zu Abschlusstests voll eingebunden ist.

Schließlich erinnern wir uns mit Freude (und auch mit einem gewissen Schrecken über die erforderliche Arbeitsbelastung) daran, dass wir im September 2005 die 7. Europäische Konferenz über Angewandte Supraleitung, EUCAS '05 (7th European Conference on Applied Super-



Magnetoscan der Suprastromverteilung an einem 17 cm langen „coated conductor“, aufgenommen mit hoher (oben) und niedriger Auflösung (unten).

conductivity) an der TU Wien (Freihaus) zu Gast hatten, an der eine Rekordzahl von über 900 Wissenschaftlern teilnahm und die von unserem Forschungsbereich unter massiver Beteiligung von Personal aus allen Zentralen Einrichtungen des Hauses organisiert und zu einem schönen Erfolg geführt wurde.

2.5 Kernphysik und Nukleare Astrophysik

Ständiges wissenschaftliches Personal: M. Faber, H. Leeb, H. Markum
Projektbezogenes wissenschaftliches Personal: R. Höllwieser, M. Pitschmann

Die wissenschaftlichen Aktivitäten der Mitarbeiter dieses Forschungsbereiches erfolgten vor allem in den Teilgebieten der *klassischen Kernphysik* sowie der *Hadronenphysik und Quantenfeldtheorien*.

In der *klassischen Kernphysik* galt das Hauptinteresse vor allem Arbeiten zur Kerndatenevaluation, die für die Entwicklung innovativer nuklearer Systeme, aber auch für die Dosimetrie, medizinische Anwendungen und Sicherheitsaspekte von größter Bedeutung ist. Sowohl die Entwicklung von Anlagen zur kontrollierten Kernfusion als auch das Design von neuen beschleunigergetriebenen Reaktorkonzepten (ADS) zur Transmutation (Elimination) von radioaktivem Abfall erfordern Kerndaten bei Energien zwischen 20 und 150 MeV, welche zum Großteil nur über Kernmodelle generiert werden können. Ein wesentlicher Beitrag der Arbeitsgruppe ist die Formulierung neuer Methoden zur Abschätzung der Genauigkeit von Modellen, welche in Form von Kovarianz Matrizen für

Wirkungsquerschnitte in die evaluierten Datenbanken eingehen. Neben diesen theoretischen Arbeiten war die Arbeitsgruppe am n_TOF Experiment am CERN beteiligt, welches die Messung von Neutron-Einfangwirkungsquerschnitten und von Neutronen-induzierten Spaltwirkungsquerschnitten zum Ziel hat. Die n_TOF-Anlage am CERN ist auf Grund ihrer charakteristischen Parameter vor allem für die Messung von Reaktionswirkungsquerschnitten radioaktiver Targets bestens geeignet. Im Berichtszeitraum wurden Messreihen für eine Serie von kern- und astrophysikalisch interessanten Targetkernen mit hoher Präzision durchgeführt, die zum Teil erstmals mit hoher Genauigkeit bestimmt werden konnten. Insbesondere die extrem niedrige Neutronen-Sensitivität der eingesetzten Photonendetektoren führte zur Revision der Einfangwirkungsquerschnitte und hat damit Auswirkungen auf astrophysikalische Interpretationen.

Im Bereich der theoretischen Modellbildung wurde im vergangenen Jahr die mikroskopische Bestimmung von optischen Potentialen wieder aufgenommen. Erstes Ziel ist die Bestimmung von α -Kernpotentialen für stabile Kerne bei astrophysikalisch relevanten Energien, die einer experimentellen Erfassung nicht direkt zugänglich sind. Die Arbeiten sind derzeit noch im Laufen und sollen in weiterer Folge auch auf Systeme mit exotischen Kernen erweitert werden.

Im Berichtszeitraum wurden auch die Arbeiten zur Reflektometrie und zur tensoriellen Tomographie mit Neutronen fortgeführt. Hauptaugenmerk war die Formulierung von Analysemethoden, um das Maximum an Information aus Messungen mit derzeit verfügbaren Einrichtungen zu erhalten. Ein gelöstes Problem waren z.B. die unvollständigen Präparierungs- und Analysemöglichkeiten in Bezug auf die Polarisation in derzeit verfügbaren Neutronenreflektometern.

Im Bereich der *Hadronenphysik und Feldtheorien* ist ebenfalls ein weites Spektrum an Aktivitäten gegeben. Ein Schwerpunkt ist die Untersuchung von Kaonischen Atomen. Insbesondere werden die durch die starke Wechselwirkung verursachten Niveaushiftungen und –verbreiterungen von Grund- und angeregten Zuständen modelliert. Hervorzuheben

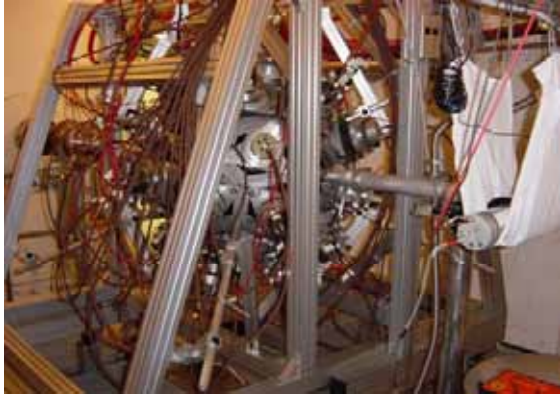
sind die von Mitarbeitern durchgeführten Rechnungen des K-Einfangs und des β^+ -Zerfalls in wasserstoffartigen schweren Ionen, welche gute Übereinstimmung mit den am GSI durchgeführten Experimenten ergaben.

Im Vordergrund der feldtheoretischen Betrachtungen war die Untersuchung der Mechanismen der wichtigsten Phänomene der QCD, und zwar der Quarkeinschluss, die dynamische Brechung der chiralen Symmetrie und die topologische Ladung der Feldkonfigurationen im nichttrivialen Vakuum der QCD. Hier konnten vielbeachtete Ergebnisse erzielt werden.

Weitere Aktivitäten betrafen die Behandlung grundlegender Fragen der Feldtheorie in schematischen Modellen. So wurde in 1+1-Raum-Zeit-Dimensionen eine kovariante Renormierung des Sine-Gordon-Modells für beliebige Werte der Kopplungsstärke und die quantentheoretischen Massenkorrekturen der Solitonmasse durchgeführt. Die vollständige Renormierung des masselosen Thirringmodells war bisher nicht bekannt und wurde von Pitschmann u.a. gelöst. Ein Schwerpunkt der feldtheoretischen Arbeiten konzentrierte sich auf Solitonen in 3+1 Dimensionen. Dieses Modell erlaubt die Beschreibung elektromagnetischer Felder und Ladungen durch ein gemeinsames Feld. Hier wurden vor allem elektromagnetische Wellen im Solitonmodell untersucht und mit den elektromagnetischen Wellen der Maxwelltheorie verglichen.

Neben den wissenschaftlichen Tätigkeiten sind vor allem die Aktivitäten der Mitarbeiter im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit hervorzuheben. Zentrales Ziel ist dabei die Vermittlung von naturwissenschaftlichen Inhalten an die breite Öffentlichkeit, wobei in den Bildungsprojekten des Atominstututs neue zeitgemäße Methoden der Wissenschaftskommunikation entwickelt und verwendet wurden. Zentraler Ansatz ist die Aufbereitung naturwissenschaftlicher und technischer Inhalte für eine breite Öffentlichkeit und die junge Generation in unterhaltsamer, spannender und verständlicher Form. Dabei werden sowohl traditionelle Medien, wie Sachbuch, Radio und Theater, als auch neue Medien, wie web-basierte Bildungsplattformen und *Podcasts*, verwendet. Wesent-

liche Beiträge zur Öffentlichkeitsarbeit der Europäischen Kernstrukturforschung wurden von den Mitarbeitern des Forschungsbereichs geleistet.



Totales Absorptions-Kalorimeter bei der n_TOF Anlage am CERN.



Einband des Buchs von H. Oberhummer, "Kann das alles Zufall sein? - Geheimnisvolles Universum".

2.6 Atomphysik und Quantenoptik (seit 2006)

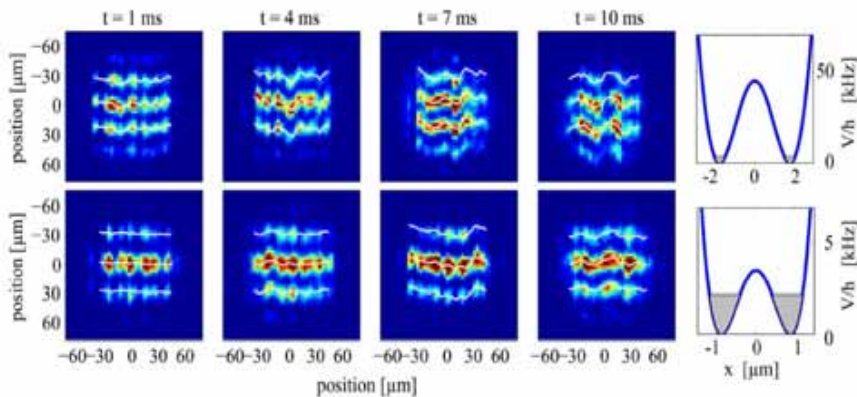
Ständiges wissenschaftliches Personal: B. Hessmo, J. Schmiedmayer, S. Schneider, T. Schumm

Projektbezogenes wissenschaftliches Personal: T. Betz, M. Göbel, C. v. Hagen, S. Haslinger, D. Heine, C. Koller, J. Majer, S. Manz, I. Mazets, A. Perrin, D. Smith, M. Trinker, J. Verdu

Die Wissenschaftlergruppe um Prof. Schmiedmayer beschäftigt sich zentral mit dem Verständnis von Quantenphänomenen und der Technologie, diese robust zu implementieren. Besonders die Kombination von Quantenphysik und oberflächenbasierter Hochtechnologie eröffnet ungeahnte Manipulationsmöglichkeiten der Atome auf dem AtomChip¹. Das wesentliche Medium dabei sind ultra-kalte entartete Quantengase. Auf dem AtomChip erzeugen mikroskopische Leiterstrukturen die magnetischen und elektrischen Felder, die gemeinsam mit der Integration von mikrooptischen Elementen die robuste und präzise Präparation, Manipulation und Messung von ultra-kalten Atomen ermöglichen. Die wesentlichen Themenschwerpunkte lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Bose-Einstein Kondensate (BEC) auf dem AtomChip. Durch Einstrahlung von Radio-Frequenzwellen in Magnetfallen (Nature Physics, Sept. 2006) kann ein Doppeltopfpotential erzeugt werden. Dadurch konnte erstmals durch die Arbeitsgruppe Quantenoptik durch Separation und Rekombination eines BEC ein Atominterferometer auf dem Chip realisiert werden (Nature Physics, Okt. 2005). Verschiedene Prozesse, die zu einer Dynamik der Kohärenz bzw. Dekohärenz führen, können damit in eindimensionalen Systemen mit ⁸⁷Rb äußerst kontrolliert untersucht werden (Nature, Sept. 2007). Des

¹ AtomChips bestehen aus oberflächenbasierten Mikrostrukturen in der Größenordnung von einigen bis einigen hundert Mikrometern. Stromführende Mikrodrähte, in verschiedenen Formen und Größen, produzieren präzise geschneiderte magnetische und elektrische Potentiale in direkter Nähe der Chipoberfläche. Folman, et al.: *Adv. Atom. Mol. Opt. Physics* **48**, 263 (2002).



Zwei 1D Bose-Einstein Kondensate (BEK) werden kohärent aufgespalten und zur Interferenz gebracht. Die longitudinalen Modulationen der relativen Phase geben Aufschluss über die Dynamik des Dekohärenzprozesses. **Oben:** Zwei vollständig getrennte BEK entwickeln sich zu unabhängigen Systemen mit zufälliger relativer Phase. **Unten:** Tunnelkopplung sorgt für eine Stabilisierung der transversalen Phase und verhindert Dekohärenz.

Weiteren befindet sich ein Experiment zur Erzeugung von niederdimensionalen gemischten Quantengasen mit Rubidium (Boson) und Kalium (Fermionen) im Aufbau. Hier soll die Dynamik in gemischten eindimensionalen Quantengasen studiert werden. Da die Energieskala eines Bose-Einstein Kondensats extrem niedrig ist, kann dieses Ensemble von ultra-kalten Atomen auch dazu verwendet werden, kleinste Fluktuationen im Magnetfeld von der Größenordnung 100 pT räumlich abzubilden (Nature, May 2005). Mit dieser Methode konnten erstmals Störungen im Stromfluss eines ebenen Leiters gezeigt und interpretiert werden. Die Herstellung und Weiterentwicklung der AtomChip-Technologie erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Mikro- und Nanostrukturen (ZMNS) der TU Wien. In Zukunft werden Halbleitertechnologie und Multilayerstrukturen auf dem AtomChip eingesetzt werden und die Implementierung von supraleitenden Strukturen und Mikrooptik auf dem AtomChip erfolgen.

Detektion von einzelnen Atomen auf dem Chip. Zur kontrollierten präzisen Detektion und Präparation von Atomzuständen wurden verschiedene Detektor-konfigurationen mit Glasfasern auf dem AtomChip installiert. Nach den ersten Messungen zeigte sich, dass die Detektion mittels Fluoreszenz jener in Resonatoranordnung (Faserfacetten stehen parallel zueinander) bezüglich Effizienz überlegen ist (siehe Abb.). Der Fluoreszenzdetektor zeichnet sich durch seine Robustheit aus, benötigt keine Justierung und erreicht eine Effizienz von 56% bei der Detektion von einzelnen Atomen. Insbesondere die Miniaturisierung gestattet eine Unterdrückung von Hintergrundrauschen um den Faktor 10^{10} . Das theoretische Limit für die Wahr-

scheinlichkeit der Messung von einzelnen Atomen mit diesem Aufbau ist 99%.

Quantum Interconnect Projekt. In einer kryogenen Umgebung soll ein Bose-Einstein Kondensat in einem AtomChip-Experiment über einen Hyperfeinübergang an einen Mikrowellenresonator (strip-line) bei 6.8 GHz gekoppelt werden. Um die Schwarzkörperstrahlung fast vollständig zu unterdrücken, wird der entsprechende AtomChip auf etwa 0.1 K abgekühlt. Die damit entstehende Schnittstelle zwischen Atomen und supraleitender Festkörperelektronik, erlaubt die zukünftige Verwendung der ultrakalten Atome (BEC) als Quantenspeicher und die Festkörperbauteile als Schaltelemente für einen Quantencomputer.

Quanteninformation. In Zusammenarbeit mit der Gruppe von J.W. Pan an der Universität Heidelberg werden neue Experimente zur Untersuchung von Quantum Memory und Quantum Repeater durchgeführt. Dabei wird ein Qubit durch einen kollektiv angeregten Zustand eines atomaren Ensembles repräsentiert. Es konnte eine stabile Quelle für eine Photonen-Atom Verschränkung realisiert werden (PRL, Okt. 2006, Mai 2007, Nov. 2007).

Zu Beginn des Jahres 2007 wurden die Experimente nach dem Umzug der Arbeitsgruppe durch die Neujustierung der Lasersysteme und die Wiederherstellung des Ultra-Hochvakuums in den Apparaturen wieder in Betrieb genommen. Ende 2007 konnte in dem Experiment mit Rubidium-87 wieder ein Bose-Einstein Kondensat erzeugt werden. Dies ist der wesentliche Schritt für neue Experimente mit eindimensionalen bosonischen Systemen. Des Weiteren war die Detektion von einzelnen Atomen in dem Experiment zur Mikrooptik wieder möglich.

2. Progress Reports of the Research Areas

2.1 Neutron and Quantum Physics

Permanent scientific staff: G. Badurek, E. Jericha, J. Summhammer, M. Zawisky
 Project staff: K. Durstberger, S. Filipp, Y. Hasegawa, J. Klepp, H. Lemmel, R. Loidl, S. Mayer, S. Sponar, J. Springer, G. Su-lyok, H. Tatlisu

Work in neutron quantum optics focused on topological phase and quantum decoherence effects. Both effects provide a novel basis for advanced quantum communication since the geometric phases seem to be considerably more robust against any kind of fluctuation and dissipation effects. This touches the question how a classical world emerges from the quantum structure of nature. Neutron interferometric (ILL Grenoble) and polarimetric (ATI Vienna) as well as ultra-cold (UCN) neutron measurements contributed on the experimental side to gain more insight into these phenomena. One of the highlights of the polarimetric experiments was the demonstration of the violation of a Bell-like inequality, distinguishing between classical and quantum mechanical behaviour, by correlating spin and energy degrees of freedom of polarized neutron beams. A hitherto unrivalled deviation from the classically expected quantity $S \leq 2$ was achieved by experimentally finding a value of $S = 2.555 \pm 0.005$. Furthermore, it was verified experimentally that geometric phases are in general indeed non-additive, except for the case of pure quantum states. Neutron interferometry on the other hand allowed the triple entanglement of wave-particle quantum states (so called GHZ-, or Greenberger-Horne-Zeilinger states) to be realized and to verify an inequality imposed by quantum contextuality, a phenomenon completely counter-intuitive to classical concepts. In cooperation with biologists from Salzburg University, quantum entanglement of ions, which are responsible for signalling processes in neuronal networks, was simulated numerically, indicating a clear difference between classical and

quantum mechanical behaviour. The new doctoral programme on “Complex Quantum Systems” will increase the level of education and research in this field.

High precision neutron interferometric scattering length measurements of ^{13}C yielded a value of 6.542 ± 0.003 fm, which deviates appreciably from the hitherto tabulated standard value of 6.19 ± 0.09 fm. Within the framework of the neutron-electron interaction project, a large (23.5 cm) 2-loop/6-plate perfect crystal interferometer was developed and successfully tested.

Within the European Neutron Infrastructure Initiative (NMI3) the concept of loss-free dynamical neutron polarization was advanced towards its actual scientific solidity and technological feasibility. Another project within NMI3 dealt with the development of novel algorithms for neutron spin tomography. Standard absorption neutron tomography, which can be routinely performed even at the small Vienna research reactor, has been further promoted by upgrading the tomography instrument. The spatial resolution of the digitized detectors was improved to $40 \mu\text{m}$ using imaging plates. A diversity of applications, as e.g. geology, stone consolidation and studies of textile fibers and borated steel alloys, have profited already from the better resolution and image gradation.

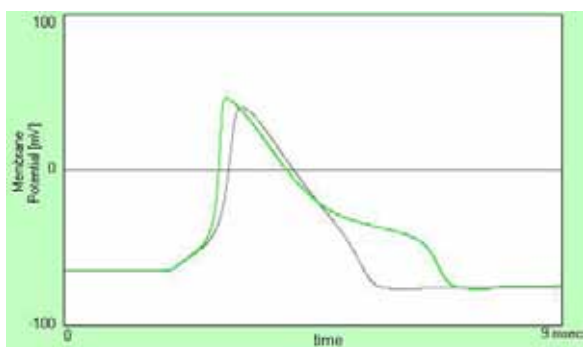
The ultra-small-angle scattering (USANS) option at the neutron interferometer set-up at ILL in Grenoble was used in collaboration with colleagues from Australia and India for the investigation of various minerals and hydration effects. Measurements on silicon phase gratings produced by radioactive ion etching at the TU-ZMNS were used to compare the USANS technique with the related spin-echo neutron small-angle scattering (SESANS) method developed at TU Delft.

An additional initiative deals with an advanced phase space transformer system, where the high phase space density achievable for ultra-cold neutrons can be transformed to higher energies by means of Bragg diffraction from fast

rotating crystals. New perspectives for cold neutron beams of much higher intensity are envisaged.

Additionally, a new laboratory for the development of solar cells was installed which now allows us to offer services to industry, such as a precise characterization of the electronic and physical properties of silicon wafers. In December 2007 the first Austrian industrial factory applying a process technology developed and partly tested at our institute became operational.

Experiments at CERN within the multinational n_TOF collaboration yielded a wealth of highly precise nuclear data which are of extreme relevance for the development of facilities dedicated to the transmutation of long-lived radioactive waste into nuclides with much shorter half-lives. In addition, the n_TOF experiments provided important results required for the progress of nuclear astrophysics, e.g. to understand the chemical evolution of galaxies.



Classical voltage pulse (black) and quantum mechanically corrected voltage pulse (green) of a space clamped axon. The faster rise of the quantum mechanical signal is supported by recent empirical findings.

2.2 Analytical Radiation Physics and Radiochemistry

Permanent scientific staff: M. Bichler, S. Ismail, C. Strelt

Project staff: P. Kregsamer, F. Meirer, G. Steinhauser, J. Sterba, P. Wobrauschek, N. Zöger

The scientific progress of the working group "X-Ray Physics" was dominated by four projects in the last three years. Firstly, an FWF project on applications of synchrotron radiation induced TXRF, performed at HASYLAB, Hamburg, with international cooperation partners, focuses on the application of absorption spectroscopy at trace element levels for chemical speciation. In the EU Project ANNA (Analytical Network for Nanotechnology) one of the milestones is the accreditation of the x-ray lab for the TXRF analysis of wafer surfaces, further the improvement of detection limits for light elements as well as the characterization of ultra shallow junctions with grazing incidence XRF. In another FWF project, in collaboration with the institute of osteology and the ANKA synchrotron source in Karlsruhe, the Pb distribution of joint bones and the determination of the chemical binding were performed successfully. TU Vienna has been supporting a microanalysis setup in the x-ray lab allowing the spatially resolved determination of light elements down to carbon. In collaboration with the Vienna Art Museum, a portable XRF spectrometer for the non-destructive analysis of art objects – including light element capability down to Na – has been developed. The infrastructure improvement programme of TU Wien allowed us to purchase a commercial EDXRF spectrometer (Epsilon 5). The NESY European winter schools for Research on Neutron and Synchrotron Radiation Facilities at the Planneralm were organized successfully in 2005 and 2007. The scientific work of the group was acknowledged by three "best poster awards" at the Denver x-ray conference, Peter Wobrauschek won the Birks award there in 2006.

The *Radiochemistry* working group does chemical-analytical research and teaches the correct and responsible handling of radioactive material. Neutron activation analysis, production and use of radiotracers as well as measurements of radioactivity in environmental samples are all part of the group's repertoire. The following small selection of examples is meant to emphasize the large scientific scope. An example of our fundamental physical research is the re-determination of the half-lives and neutron capture

cross-sections of the radio nuclides Hf-182 and Hf-183, which are important for geochronological applications. For this purpose, a new separation procedure for Ta-182 in a fluid-fluid-extraction as heptafluoro-tantalate was developed. Within the framework of our FWF special research project SCIE2000, more than 400 archaeological samples were analyzed and their origin determined according to their chemical composition. The use of radiotracers is very important in life sciences. Using radiotracers produced in our TRIGA Mark II reactor, we could prove the uptake of potassium, iron, and manganese by carnivorous plants from their prey for the first time.

One of the main research activities of the "Nuclear Chemistry and Activation Analysis" working group is to develop and improve the necessary instruments for fully-automatic neutron activation analysis techniques. The International Atomic Energy Agency (IAEA) requested us to develop and fabricate a complete pneumatic transfer system (PTS) for short-time activation analysis. The system will be implemented in a nuclear analytical laboratory, which will be established by the IAEA in Cuba. A software package, a control unit and irradiation capsules were developed and fabricated to facilitate optimal automatic irradiation measurement procedures. Essential units and chambers (sample-exchanger, counting chamber, irradiation chamber and transport gas treatment units, etc.) were also constructed in order to guarantee efficient and fully automatic analysis. Additionally, a Cuban scientist was trained in short-time activation analysis, installation and best implementation of the new system. To strengthen the cooperation between the IAEA and TU, several scientists of the IAEA-Laboratories-Seibersdorf were invited to share their expertise within a series of technical seminars. Their projects, environmental programmes, nuclear techniques and facilities were discussed with scientists and students of the Atomic Institute.

2.3 Radiation Physics, Health Physics and Nuclear Technology

Permanent scientific staff: H. Böck, M. Hajek, M. Tschurlovits, M. Villa
 Project staff: R. Bergmann, S. Karimzadeh, A. Musilek, L. Teymournia, N. Vana

Working Group Dosimetry, Radiation Protection and Archaeometry. Fundamental research on the biological effects of heavy charged particles and neutron radiation provided evidence that the occurrence of radiobiological end points and the intercellular signal transfer are correlated with the ionization density in a similar way to the inherent features of the thermoluminescence (TL) glow curve. This knowledge was applied in an experiment of the European Space Agency (ESA) to determine the distribution of the biologically relevant dose from cosmic radiation inside the anthropomorphic phantom body Matroshka installed on board the International Space Station (ISS). For that purpose, the phantom torso was equipped with more than 6,000 active and passive radiation sensors. The results are expected to significantly improve radiation risk estimations for future long-term space exploration. A credit-card sized dosimeter badge (DOSFLIP) was developed to assess the radiation exposure of aircrew personnel and tested successfully in cooperation with Tyrolean Airways in a six-month trial. On the basis of optically stimulated luminescence (OSL), a detector system for solar UV radiation was developed. The in-house designed OSL reader could also be applied to archaeological and geological dating.

Working Group Radiation Protection and Radioecology. The projects carried out by theoretical and experimental approaches covered a broad range of subjects. The following topics were considered: simulation of the response of an ionisation chamber by Monte Carlo techniques; development and quantification of a rotating slit collimator-detector and methods for determining and preparing short lived fission noble gases for verification of the CTBT (Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty) in a laboratory; preparation and metrology of radioactive tracers

for pharmacological investigations; validation of the concept of default OILs (Operational Intervention Levels) for nuclear reactor accidents by Monte Carlo calculations, and communication on radiation risk as an area of conflict between radiological, sociological and perception issues.

The emphasis of the *Working Group for Medical Applications of Ionising Radiation* lies on the evaluation of different radiation modalities by tumour control probabilities and normal tissue complication probabilities with respect to organ movement, as well as on the implementation and evaluation of new techniques and equipment in clinical routine.

Nuclear Engineering Working Group. During the reporting period, further developments of software and hardware on safeguards instruments and instruments to prevent illicit trafficking were carried out in cooperation with the IAEA, resulting in several diploma thesis works. Another project dealt with the investigation of the activation of the TRIGA shielding concrete in view of a possible decommissioning programme in the future. Another major project in cooperation with ARCS, Seibersdorf, was the development of a ground contamination cataster and the investigation of radionuclide migration in soil. Further, a decision support programme for first responders was developed and tested on an assumed fire in Vienna's main hospital (AKH).

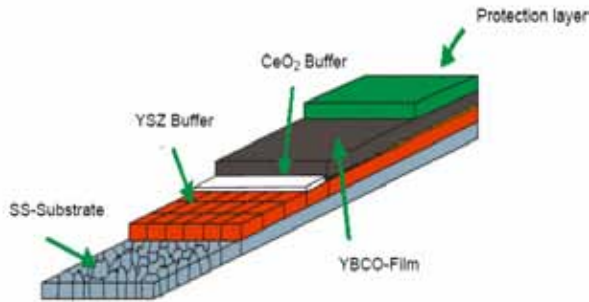
In addition, the practical courses on "Reactor Physics and Kinetics" and on "Reactor Instrumentation and Control" were carried out each year. About 35 students took part in each course, which means an approximate 300% increase over the last 10 years. The courses were also carried out on a contract basis for students of the University of Manchester twice a year, as well as for staff of the nuclear power plants Bohunice and Mochovce (Slovak Republic). These courses are also offered within the "Eugene Wigner Course" in cooperation with TU Vienna, TU Prague, TU Bratislava and TU Budapest.

2.4 Low Temperature Physics and Superconductivity

Permanent scientific staff: M. Eisterer, F.M. Sauerzopf, H.W. Weber
Project staff: M. Chudy, H. Fillunger, R. Fuger, F. Hengstberger, N. Hörhager, K. Humer, A. Kortyka, M. Kulich, R.K. Maix, R. Prokopec, K.R. Schöppl, A. Vostner, T. Withnell, M. Zehetmayer

Scientific work within this research area has increasingly shifted from basic physics to application-oriented aspects, which is in accordance with the increasing readiness of high temperature superconductors (HTS) and also the "new" superconductor MgB_2 for applications. Three of the many topics covered by the group have been picked out here, as follows.

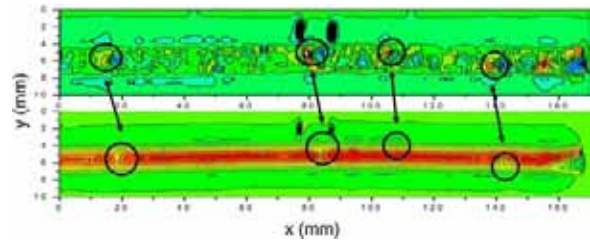
Magnesiumdiboride. The fact that MgB_2 has proven to be a fully developed two-band superconductor has made the study of such systems possible for the first time, also with regard to their magnetic properties in the mixed state in particular. The investigation of MgB_2 single crystals (in co-operation with ETH Zurich) has shown that these crystals grow without practically any defects, which means that the undisturbed reversible mixed state is also accessible to experiment. This fact was used in a series of fundamental experiments with SQUID and vibrating sample magnetometers to fully characterize the materials and also to assess their high anisotropy (field parallel and perpendicular to the basal plane). Irradiation with neutrons to introduce point defects or B-substitutions through carbon doping allows, in addition, a significant variation of the material properties, especially a strong reduction of the anisotropy as a consequence of the introduced scattering centres. In this way a broad data base of mixed state parameters could be achieved. This proved to be essential for analysing the supercurrent transport in polycrystalline single core or multifilamentary conductors made from MgB_2 , which is based in general on the current percolation theory developed by Eisterer et al. (PRL 90 – 2003). According to this theory, the random orientation of the grains with respect to the magnetic field direction and the corresponding anisotropy of the prop-



Schematic view of a coated conductor on untextured stainless steel substrates and textured YSZ buffer layers (European High Temperature Superconductors, Alzenau).

erties of these individual grains determine the critical current density J_c of the wires. Based on these ideas a large variety of experimental results, particularly on the field dependence of J_c and the volume pinning force as well as on the temperature dependence of the normal state resistivity could be analysed and quantitatively explained.

Coated Conductors. The extremely rapid worldwide development of this form of conductors based on the HTS Y-Ba-Cu-O led to the availability of commercially produced highly textured coated conductors with lengths of nearly 1.000 m and with current carrying capabilities of up to around 500 A per cm width of the tapes. Apart from fundamental issues, such as the current flow across grain boundaries, we focussed on two aspects, namely the potential of such conductors for future fusion magnets and the homogeneity of current flow along long lengths of these conductors. In the first case, commercially available conductors were investigated with regard to their behaviour under neutron and gamma radiation, their performance at "high" temperatures (up to 77 K) and magnetic fields (up to 15 T), in order to arrive at a "road map" for their potential use as fusion magnet conductors. Secondly, the recently developed magnetoscan technique, initially used for the characterisation of bulk superconductors, was adopted for assessing the supercurrent flow in long length conductors (presently up to 25 cm). Primarily based on extended theoretical studies on the generation of the magnetoscan signal (Zehetmayer et al.: APL 90 – 2007), we were able to show that a simple scan of the tape along its



Magnetoscan of the supercurrent distribution in a 17 cm long "coated conductor", taken with high (upper panel) and low resolution (lower panel).

centre would be sufficient for calculating the local critical current density, thus allowing us, in principle, to check the quality of the tape "in-situ" during processing. This could lead to considerable cost reductions in the very expensive production process and thus accelerate the breakthrough of these materials on the market.

Insulation materials for fusion magnets. Our research in the framework of the EURATOM programme for developing and characterising new insulation systems for fusion magnets entered a decisive phase during the reporting period. All our previous work had shown that glassfibre reinforced plastics made of mixtures of cyanate ester and epoxy resins represented a system that would fulfil all the requirements set for the insulation of superconducting magnets in a fusion reactor, particularly with regard to the radiation environment. This would ensure that the superconducting magnets, which are the most expensive single components of such a reactor, would not fail until the end of the plant lifetime and beyond. As a consequence, the fabrication of an "industrial mock-up" was ordered by the European Home Team, in order to test the vacuum impregnation process of large coils with the new insulation system on an industrial scale. In parallel, the introduction of this new insulation system is being discussed and coordinated with the international ITER partners. Our group is involved in all of these activities and working on current and further contracts for fabrication specification and final testing.

Finally we recall with great pleasure (and also with a certain horror in view of the tremendous work load) organising and hosting of the 7th European Conference on Applied Superconductivity, which was held at the Vienna University of Technology

(Freihaus) in September 2005. We were able to welcome a record number of participants (more than 900!) and to secure – with massive support for our group members by personnel mainly from ATI’s Central Facilities – the smooth running and a full success of the conference.

2.5 Nuclear Physics and Nuclear Astrophysics

Permanent scientific staff: M. Faber, H.

Leeb, H. Markum

Project staff: R. Höllwieser, M. Pitschmann

The scientific activities of the members of this research area comprise the topics of *classical nuclear physics* and of *hadron physics and field theory*.

In *classical nuclear physics* the main activities are related to nuclear data evaluation, which is important for the design of novel nuclear systems, but also for dosimetry, medical applications and various safety aspects. The development of nuclear fusion reactors as well as nuclear transmutation facilities requires nuclear data in the energy range up to 150 MeV, most of them can only be provided by nuclear model calculations. An essential contribution of the working group at the Atomic Institute is the formulation of novel methods to evaluate the reliability of nuclear model calculations, which usually appears in evaluated data files in the form of covariance matrices for cross sections. Apart from the theoretical work the working group participated in the n_TOF experiment at CERN, which aims at high precision measurements of the neutron-capture cross section and the neutron-induced fission cross section. Because of its unique system parameters the n_TOF facility at CERN is particularly well suited for the measurements of cross sections at radioactive targets. During this n_TOF measurement campaign, a series of capture and fission cross sections of radioactive targets relevant for nuclear data needs and astrophysics were measured and analysed for the first time with high precision. Especially the extremely small neutron sensitivity of the detector set-up led to the revision of several capture cross

sections, which implies changes in our understanding of the s-process path in nucleosynthesis.

Recently, the research on microscopic optical models has been taken up again. The first goal is to determine α -nucleus optical potentials for stable nuclei at astrophysically relevant energies which are not accessible in experiment. The work is still in progress. The final goal is the extension to exotic nuclei.

Studies of reflectometry and tensorial tomography with neutrons were continued. Primary goals were theoretical procedures to account for the actual capabilities of presently available setups in order to grasp the whole information content of a measurement. The problem of incomplete preparation and analysis of the polarization in available reflectometer setups was especially considered.

A wide range of activities were also performed in *hadron physics and field theory*. One important topic was the investigation of kaonic atoms. Especially the shift and broadening of the ground state and excited levels due to the strong interaction were subject of extensive model calculations. An essential contribution were the calculations of kaon-capture and the β^+ -decay in hydrogen-like heavy ions, which are in good agreement with recent measurements at GSI.

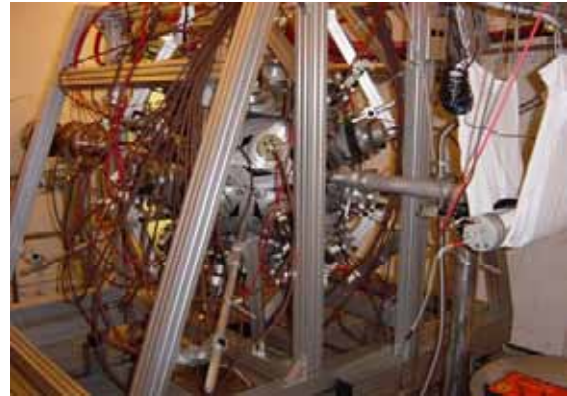
The central topic in field theory was the study of the most important phenomena in QCD, i.e. quark confinement, dynamical breaking of chiral symmetry and the topological charge of field configurations in the non-trivial QCD vacuum. Very nice results could be achieved here.

Another research activity dealt with basic questions of field theory in schematic models. Especially notable, a covariant renormalisation of the Sine-Gordon-Model in 1+1 dimensions for arbitrary coupling strength and the quantum mechanical mass corrections of the soliton mass were performed. An important improvement was the complete renormalisation of the massless Thirring model by M. Pitschmann et al. A focus of interest was the field theory of solitons in 3+1 dimensions. This model allows the description of electromagnetic fields and charges by unified fields. Electromagnetic waves were

studied in the soliton model and compared with those obtained in Maxwell theory. Apart from their scientific research, the members of the research area are very active in outreach activities. The main goal is the transfer of scientific contents to the general public, developing and using novel up-to-date communication techniques. An important aspect is the preparation of scientific and technical contents in an entertaining, animating and eligible form, especially for the younger generation. Traditional media such as books, radio and theatre, as well as new media like web-based education platforms and Podcasts are applied. In addition to these general outreach activities the members of the research area made essential contributions to the public relation activities of the European nuclear structure research.



Cover of the book by H. Oberhummer, "Kann das alles Zufall sein? - Geheimmnisvolles Universum".



Total absorption-calorimeter at the n _TOF device at CERN.

2.6 Atomic Physics and Quantum Optics (since 2006)

Permanent scientific staff: B. Hessmo, J. Schmiedmayer, S. Schneider, T. Schumm
 Project staff: T. Betz, M. Göbel, C. v. Hagen, S. Haslinger, D. Heine, C. Koller, J. Majer, S. Manz, I. Mazets, A. Perrin, D. Smith, M. Trinker, J. Verdu

The group of scientists around Prof. Schmiedmayer is studying quantum physics of small mesoscopic systems and their robust implementation with new technologies. The miniaturization and integration of quantum optics and atomic physics manipulation techniques onto a single chip, colloquially called the AtomChip², combines the best of both worlds: the perfected manipulation techniques from atomic physics with the capability of nanofabrication, micro-electronics and micro-optics for high precision manipulation and measurement. The principal medium of our research are ultra-cold degenerated quantum gases, i.e. Bose-Einstein condensates (BEC) or Fermi gases. The AtomChip opens up novel possibilities in precise manipulation of these complex quantum systems.

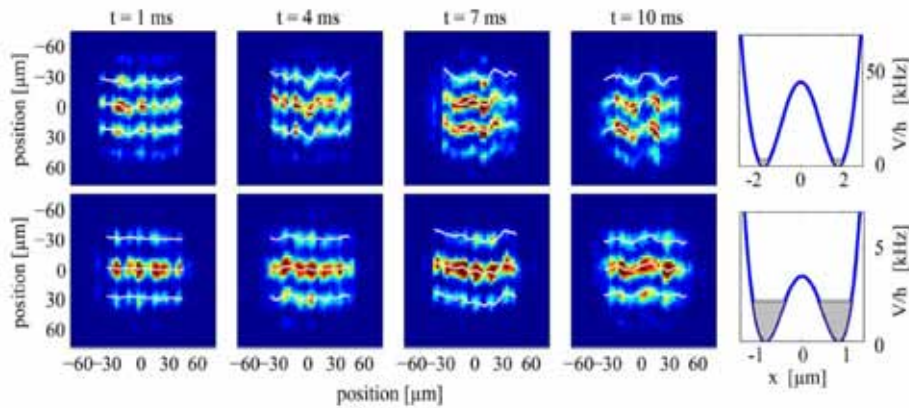
² AtomChips consist of surface-mounted microstructures, ranging in scale from several hundreds of microns down to 100 nm. Current carrying micro wires of different shapes and sizes deliver accurately tailored magnetic and electric fields for atom manipulation close to the chip surface. For a review see: R. Folman et al., *Adv. Atom. Mol. Opt. Physics* **48**, 263 (2002).

In the last three years our group moved from the Physikalisches Institut of the University of Heidelberg to the Atomic Institute. 2005 was mostly concerned with planning the new Laboratories, 2006 with the construction and installation of the new facilities at ATI. The major part of our experiments and group arrived in Vienna on January 30th 2007. Immediately afterwards setting-up our experiments in the great newly built and tested laboratories started. Now we have our student cold atom experiment and two AtomChip research experiments running, one with a 1d BEC and a new single atom camera, the other with a micro-optics atom counter and a bright single photon source. The others will follow soon. The main topics of research may be summarized as follows.

BEC on the AtomChip. AtomChip based experiments allow a great experimental simplification in creating degenerate quantum matter, a BEC or a degenerate Fermi Gas. In the last few years we developed radio-frequency-induced adiabatic potentials (Nature Physics, Sept. 2006) for precision manipulation of trapped BEC's. The BEC can be split by deforming a single trap into a double-well and by recombining the two split matter waves, thus realising an atom interferometer on the AtomChip for the first time (Nature Physics, Oct. 2005). We then used our double-well interferometer for detailed studies of fundamental non-equilibrium properties in low dimensional interacting many body quantum systems (Nature, Sept. 2007). A striking observation was that decoherence does not follow an exponential law, but proceeds with an additional exponent 2/3. In addition we could demonstrate the phase locking of matter waves by tuning the barrier between the two BEC's to allow tunnelling. In a second experiment we could see the fundamental quantum noise that limits the coherence in these one dimensional quantum systems for the first time and separate it from thermal noise, and were able to measure its full distribution function (Nature Physics, in print). The apparatus was moved to ATI in January 2007, rebuilt and substantially upgraded with a new multi-layer atom chip and a new imaging system. The experiment is running, and we again have a 1d BEC at hand to experiment with. In

addition we built up a novel atom fluorescence imaging detector which allows us to see single atoms and paves the way towards mesoscopic experiments with interacting quantum systems of a few particles. Parallel to this, we started to build up a new experiment with two different atomic species (Rb-87 as a Boson and K-40 as a Fermion). The main goal thereby is to study low dimensional degenerated Fermi gases, and Bose/Fermi mixtures as fundamental many body quantum systems. The development of the AtomChip technology and the production of the chips used in the experiments are done in a joint effort with the Centre for Micro- and Nanostructures (ZMNS) at TU Vienna, where in fact the first AtomChip was built in 1998/99, at a time when our group was still in Innsbruck. In 2006/2007 we successfully transferred the AtomChip fabrication technology from the Weizmann Institute of Science, where we developed it over the last 6 years in a joint effort funded by two EU projects, to the ZMNS. In future, semiconductor structures, superconducting elements and micro-optics will be further adapted and implemented on the AtomChip.

Magnetic field microscopy using ultra cold atoms. In the magnetic field microscope (Nature, May 2005) ultra cold atoms probe the local magnetic potential through their magnetic interaction. They fill the potential landscape like a gas (thermal atoms) or a liquid (BEC). The local column density is a measurement of the local potential energy surface, and the magnetic field is given by $V(r) = m_F g_F \mu_B |B(r)|$, where μ_B is Bohr's magneton, m_F is the quantum number associated with the Zeeman state of the atom and g_F is the Lande-factor. The typical sensitivity of these measurements is of the order of 100 pT at 3 μm spatial resolution. In that range of spatial resolution, magnetic field microscopy using ultra cold atoms has better magnetic field sensitivity than competing methods by a factor of 100, and the advantage that these small changes can be measured on top of a nearly arbitrary offset field. In a pilot study we applied the magnetic field microscope to a materials science problem, i.e. visualizing current flow in thin metal films (Science, in print). The exceptional sensitivity of the



The longitudinal variation of the phase after coherently splitting a single 1d BEC into two reveals the decoherence mechanisms.

TOP: Isolated systems decoherence completely.
BOTTOM: Tunnelling results in phase locking of the two matter waves.

ultra cold atoms allowed us to observe long-range correlations forming organized patterns oriented at $\pm 45^\circ$ relative to the mean current flow in polycrystalline gold films even at room temperature and at length scales orders of magnitude larger than the diffusion length or the grain size. The patterns are a direct consequence of universal scattering properties at defects. The observed amplitude of the current direction fluctuations scales inversely to that expected from standard probes and methods. This indicates that ultra cold atom magnetometry enables new insights into the interplay between disorder and transport.

Integration of optical micro-cavities in AtomChips. A key challenge in establishing an integrated matter wave quantum technology is to detect atoms with high efficiency and low background, best in a detector which can be integrated on the AtomChip. We chose to adopt micro-optical and fibre based technology from the telecom sector for our problem and developed SU8-based mounting structures for optical fibers on the AtomChip to develop a series of integrated atom detectors, ranging from micro-cavities to fluorescence collection. The fluorescence detector has proven to be the most efficient. It is very robust and alignment-free. Our present atom counter has a detection efficiency of $\sim 60\%$ for a single atom, a high bandwidth of >60 kHz and a signal-to-noise ratio of ~ 300 , which is achieved by background noise suppression at the level of 10^{-10} . Simple improvements will make it possible to increase the detection efficiency to above 99%.

Quantum Interconnect Project: Hybridization of ultra cold-atoms and superconducting quantum devices. For quantum

physics to emerge from fundamental research, one of the main challenges is how to link different quantum systems to each other and also preserve the quantum nature over the link. One has to be able to *quantum interconnect* the different domains. The AtomChip is an ideal platform to connect atomic physics quantum systems to solid state quantum devices. The newly formed Quantum Interconnect Project at ATI aims at combining the advantages of atomic physics and solid state physics for quantum science and its applications. In particular, the projects study the coupling of ensembles of ultra cold atoms as a quantum memory to superconducting microwave resonators and superconducting qubits. To limit the black body radiation to much less than one microwave photon, a cryogenic environment at or below 0.1 K is necessary. The details of the basic theoretical questions are currently being investigated and the first experiments prepared.

Quantum Information, Quantum Memory. Photons are the ideal carrier of quantum bits, the long quantum coherence times achievable in atoms make them a nearly ideal quantum memory. In the experiments started in Heidelberg and headed by Jian-Wei Pan we have developed a single excitation in a collective state in atomic ensembles as a very robust quantum bit. In recent years we achieved writing single excitations into atomic ensembles and with them created heralded single photon sources (PRL, Oct. 2006), robust atom photon entanglement (PRL, Nov. 2007), entangled photon pairs (PRL, May 2007), and finally teleported an unknown qubit into an atomic memory (Nature Physics, Jan. 2008) and retrieved it.

3. Berichte aus den Zentralen Einrichtungen

Reaktor

Im Berichtszeitraum wurde der TRIGA-Reaktor ohne besondere Vorkehrungen bestimmungsgemäß für Studierende und internationale Benutzergruppen betrieben. Die jährlichen gutachterlichen Überprüfungen ergaben keinen Anlass zu Beanstandungen. Durch regelmäßige Überprüfungen gemäß dem vorliegenden Wiederholungsprüfplan wurde der störungsfreie Betrieb sichergestellt. Der Betrieb bei kleiner Reaktorleistung (<10 W) für die „Praktischen Übungen“ nahm weiter zu, sodass damit eine zeitliche Begrenzung erreicht ist, um nicht jene Nutzer, die Nominalleistung (250 kW) benötigen, zu beeinträchtigen. Einige Beispiele für externe Teilnehmer an den „Praktischen Übungen“ wären jährlich zwei Studentengruppen der University of Manchester im Rahmen ihres nuklearen Ausbildungsprogramms sowie zweimal jährlich Kurse für Kernkraftwerkspersonal aus der Slowakischen Republik in Zusammenarbeit mit der TU Bratislava. Damit geht der TRIGA-Reaktor mit Ende 2007 erfolgreich in sein 46. Betriebsjahr.



Blick in den Reaktor während eines Reaktorimpulses

EDV

Wie auch in anderen Bereichen bestand eine der großen Aufgaben der EDV-Gruppe in der Einbindung der neuen Gruppe für Atomphysik und Quantenoptik. Diese begann im Sommer 2006 und führte zu einem raschen Anwachsen der Zahl von Rechnern am Atominstitut. Mit dieser Gruppe wurde auch deren zentraler Daten-Server in unser Netzwerk integriert. In der Folge wurde auch ein Backup-Server für das gesamte Institut angekauft und installiert. Somit gibt es eine zentrale Möglichkeit zur Datenspeicherung für alle Arbeitsgruppen.

Mit der kontinuierlichen Entwicklung der Technologie wurden auch die Anforderungen an die Leistungen des Rechenzentrums am Atominstitut immer höher. Insbesondere die Netzwerk-Anbindung an die Technische Universität erwies sich als zu schwach für die wachsenden Datenmengen. Dieser Missstand wurde von der TU Wien durch die Errichtung einer Glasfaserverbindung zur TU behoben. Damit war auch eine bessere Integration des Netzwerkes in das TUNET möglich. Besonders nützlich ist dabei die Einführung des Funknetzwerkes der TU am Atominstitut. Dieses ersetzte im Herbst 2007 den Testversuch, der durch die EDV des Instituts seit Ende 2006 durchgeführt worden war.

Insbesondere soll auch die Erneuerung des Internetauftrittes des Atominstuts erwähnt werden. Der neue Webauftritt sollte besser die neue Organisationsstruktur des Instituts widerspiegeln. Nach umfangreichen Vorplanungen im Jahr 2006 entschieden wir uns dafür, das Content-Management-System Typo 3 zu verwenden, um eine leichte Wartbarkeit der Inhalte durch die Forschungsbereiche zu ermöglichen. Seit dem Sommer 2007 steht die Institutsseite im neuen Design zur Verfügung.

3. Reports from the Central Facilities

Reactor

During the reporting period the TRIGA reactor was available for students and international users and operated without any major outages. The result of the experts' annual peer review of all reactor systems was positive. An outage-free reactor operation was secured due to regular re-inspections according to a detailed plan. The operation of the reactor at low power (<10 W) has further increased, due to the large demand for the lab course "Practical Exercises at the TRIGA Reactor", but a limit has now been reached so as not to infringe on the needs of regular MSc and PhD students, who require full power operation at 250 kW. Typical examples for external participants in the "Practical Exercises" are student groups from the University of Manchester within their practical nuclear training programme twice a year as well as two courses a year for NPP staff of Slovak nuclear power plants together with the Technical University of Bratislava. With this positive aspect, the TRIGA reactor Vienna enters its 46th year of operation.

IT

The introduction of the new "Atom Chip" group into our network was one of the major tasks for the IT group of the Atomic Institute. It led to a significant increase in the number of network clients and services. After the successful installation of the group's central data server, we also acquired a dedicated server for a centralised backup solution for all working groups of the institute.

The backbone of our connection to the internet is our link to the main buildings of the TU. The old radio link had become too slow and unreliable for the strongly increased traffic, and was replaced by a glass fibre connection. The resulting closer tie to TU's internal net TUNET also allowed introducing the TU WLAN at our institute, along with "edu-

room", the international scientific community network.

Our most demanding task during the last years was the design of the institute's new internet appearance. We intended to mirror the new structure of the institute in a modern design and to enable easy maintenance of its contents. After a thorough discussion of all alternatives, we decided to base the system on the content management system Typo 3. The system became operational in summer 2007.

