



Wissen schafft Nutzen
50 Jahre GKSS





50 Jahre GKSS

Herausgeber:

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH
Abteilung Öffentlichkeitsarbeit
Max-Planck-Straße 1 • 21502 Geesthacht
GKSS ist Mitglied der Hermann von Helmholtz-
Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V.

Redaktion:

Dr. Sven Tode, ifw Institut für Firmen- und
Wirtschaftsgeschichte GmbH, Hamburg
Dr. Iris Ulrich, GKSS

Autor:

Dr. Jan Straßenburg, ifw Institut für Firmen- und
Wirtschaftsgeschichte GmbH, Hamburg

Textbeiträge und fachliche Beratung:

Prof. Dr. Volker Abetz, GKSS, Dr. Fritz Appel, GKSS,
Prof. Dr. Dr.-Ing. habil. Karl W. Böddeker, Glinde,
Prof. Dr. Rüdiger Bormann, GKSS, Dr. Ulrich Callies, GKSS,
Prof. Dr. Franciscus Colijn, GKSS, Dr. Martin Dornheim, GKSS,
Dr. Jorge Dos Santos, GKSS, Volker Dzaak, GKSS,
Prof. Dr. Ralf Ebinghaus, GKSS, Dr. Christiane Eisold, GKSS,
Dr. Hans-Ulrich Fanger, Reinbek, Dr. Götz Flöser, GKSS,
Dr. Heinz Günther, GKSS, Walter Heisch, GKSS,
Dr. Heike Helmholtz, GKSS, Dr. Norbert Hort, GKSS,
Prof. Dr. Karl-Ulrich Kainer, GKSS, Prof. Dr. Andreas Lendlein, GKSS,
Wolfgang Limberg, GKSS, Dr. Jürgen Nelles, Bonn,
Univ.-Prof. Dr. Andreas Prange, GKSS, Dr. Peter Schreiner, GKSS,
Prof. Dr. Andreas Schreyer, GKSS, Prof. Dr. Karl-Heinz Schwalbe, GKSS,
Dietrich Seeliger, Escheburg, Dr. Michael Störmer, GKSS,
Prof. Dr. Hans von Storch, GKSS, Dr. Klaus Taube, GKSS,
PD Dr. Elke Völmicke, Köln, Jürgen Vollbrandt, GKSS,
Dr. Ralf Weiße, GKSS.

Verlag:

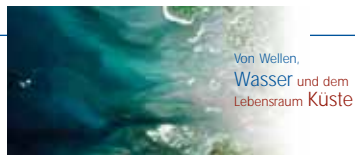
Verlag Hanseatischer Merkur
Hamburg 2006

Satz und Layout:

Context Werbeagentur, Geesthacht

Druck:

Buch- und Offsetdruckerei
H. HEENEMANN GmbH & Co, Berlin



Vorwort: GKSS – ein modernes Großforschungszentrum am Beginn des 21. Jahrhunderts	5
1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronenstreuung für die Wissenschaft	10
1.1 Kernenergie für die Schifffahrt: Die Gründung der GKSS 1956	12
1.2 Die Forschungsreaktoren: FRG-1 (1958 bis heute) und FRG-2 (1963-1995)	15
1.3 NS OTTO HAHN: Hochtechnologie für die Praxis (1963-1982)	19
1.4 Reaktorsicherheit (1975-1987)	26
1.5 Neutronen für die Forschung: Kalte Neutronenquelle und Neutronenstreuungseinrichtung am FRG-1 (seit 1984):	29
2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste	34
2.1 Wasserentsalzung (1970-1982)	36
2.2 Meeres- und Unterwassertechnik (1970-1993)	39
2.3 Umweltforschung (seit 1974)	47
2.4 Küstenforschung (seit 1999)	54
3. Werkstoffmechanik und neue Materialien	60
3.1 Werkstoffmechanik (seit 1980)	62
3.2 Metallische Leichtbau- und Funktionswerkstoffe (seit 1986)	65
3.3 Membranen in der Trenn- und Umwelttechnik (seit 1999)	74
3.4 Biomaterialien für die Regenerative Medizin (seit 2002)	77
4. Quellen und Literaturverzeichnis, Bildnachweise	82

GKSS – ein modernes Großforschungszentrum am Beginn des 21. Jahrhunderts

Am Beginn des 21. Jahrhunderts blickt das 1956 gegründete GKSS-Forschungszentrum auf eine ertrag- und erfolgreiche 50-jährige Geschichte zurück, in deren Verlauf aus der ersten Großforschungseinrichtung der damals noch jungen Bundesrepublik Deutschland ein modernes, interdisziplinär ausgerichtetes Helmholtz-Forschungszentrum im Verbund einer starken Gemeinschaft wurde. 750 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von GKSS tragen in Geesthacht und Teltow bei Berlin im Rahmen nationaler wie internationaler Programme dazu bei, Antworten auf zentrale und drängende Fragen der Zeit – insbesondere Fragen der Energie- und Ressourcenschonung – zu finden. Dem GKSS-Claim „wissen schafft nutzen“ folgend, erarbeiten sie wissenschaftliche Erkenntnisse und entwickeln daraus konkrete Nutzungsoptionen für Gegenwart und Zukunft. Im Zentrum der GKSS-Forschungsaktivitäten stehen heute zwei in besonderem Maße anwendungsorientierte und zukunftsweisende Tätigkeitsfelder: die Küstenforschung und die Werkstoffforschung.

Die Küstenforschung bei GKSS greift die Probleme auf, die ein wachsender Siedlungs- und Industrialisierungsdruck – etwa die Hälfte der Menschheit lebt in küstennahen Regionen – in den globalen Küstenräumen hervorruft. Küsten und ihre Bewohner sind sowohl durch natürliche Gefahren wie Sturmfluten oder Tsunamis als auch durch anthropogen verursachte Veränderungen, wie Meeresspiegelanstieg, wasserbauliche Eingriffe und Schadstoffeinträge gefährdet. Hier setzt GKSS an, denn das Management der Küstenumwelt wird in Zukunft eine integrierte wissenschaftliche Begleitung benötigen.

Eine besondere Anerkennung erfuhr die GKSS-Küstenforschung zuletzt im Januar 2006, als das internationale Projektbüro von LOICZ (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, ein Forschungsprogramm der Vereinten Nationen) GKSS zu seinem neuen Standort wählte.

In der Werkstoffforschung liegt der Fokus seit den 1990er Jahren auf Arbeiten zur Entwicklung und Erprobung von besonders leichten Werkstoffen und von solchen mit speziellen Funktionen. Es geht darum, eine steigende Mobilität bei gleichzeitiger Schonung der Energieressourcen und der metallischen Rohstoffreserven zu erlauben. Arbeiten zur mikro- und makroskopischen Material-

Charakterisierung werden ergänzt durch häufig in Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelte werkstoffbezogene Fertigungs- und Verarbeitungstechnologien. Die Forschungen zielen darauf, das Verhalten von Werkstoffen während ihrer Verwendung ermitteln und vorhersagen zu können.

Für den Leichtbau werden Magnesiumlegierungen und für den Einsatz bei höheren Temperaturen werden Titanaluminide entwickelt, die hohe Sicherheit und Stabilität von Bauteilen bei geringem Gewicht gewährleisten. Damit erlauben die aus solchen Materialien hergestellten Produkte einen energie schonenden und rentablen Einsatz.

Diese Zielsetzung verfolgt bei GKSS auch die Polymerforschung für Membranen in der selektiven Trenntechnik mit typischen Anwendungen in der Gasphasenseparation, der Brennstoffzelle und in Osmosekraftwerken.

Seit der Jahrtausendwende gehört auch die Erforschung von Biowerkstoffen zu einem aussichtsreichen Schwerpunkt der Werkstoffforschung. So können im Rahmen der regenerativen Medizin Biomaterialien zur Regeneration von Zellen, Geweben und Organen beitragen und lassen daher jenseits heute verfügbarer Methoden grundlegende neue Therapiemöglichkeiten für bisher kaum kurierbare Erkrankungen oder Verletzungen erwarten.

Wie sich bei der Betrachtung der beiden Bereiche Küstenforschung und Werkstoffforschung exemplarisch zeigt, hat sich GKSS seit ihrer Gründung dem Ziel verschrieben, wissenschaftliche Erkenntnisse und Forschungsergebnisse immer auch mit Blick auf ihre Nutzung im Dienst gesellschaftlicher Ansprüche und Anforderungen auszuwerten. Der mitunter langwierige Weg von der grundlegenden Forschung über Test- und Versuchsreihen bis hin zur Anwendungsreife eines Produktes wurde und wird deshalb in enger Zusammenarbeit mit anderen Forschungsinstitutionen und Industrieunternehmen beschritten. Eine Vielzahl wissenschaftlicher Errungenschaften konnte u. a. durch die von GKSS-Wissenschaftlern betriebenen Firmengründungen bereits auf dem Markt platziert werden. Viele dieser jungen Unternehmen sind im Geesthachter Innovations- und Technologiezentrum (GITZ) angesiedelt, das auf dem Gelände des Forschungszentrums eine Plattform bildet, die diesen Firmen die Möglichkeit eröffnet, sich miteinander zu vernetzen und den engen Kontakt zur GKSS aufrecht zu erhalten.



Wenn man die 50-jährige Geschichte der GKSS rekapituliert, wird deutlich, dass die Ausrichtung der Forschung den Zielen der Energie- und Rohstoffversorgung ebenso verpflichtet war und bleibt wie denen der Ressourcenschonung, dem Schutz der menschlichen Lebensräume und der natürlichen Umwelt. Denn als es seit Mitte der 1950er Jahre darum ging, Alternativen zu herkömmlichen Energieressourcen zu erproben, sollte der 1958 in Betrieb genommene Forschungsreaktor FRG-1 die friedliche Nutzung der Kernenergie für den Antrieb von Handelsschiffen vorantreiben. Das von GKSS entworfene erste und einzige kernenergiegetriebene deutsche Frachtschiff, die NS OTTO HAHN, lieferte von 1969 bis zu seiner Stilllegung 1979 den Beweis für den störungsfreien Betrieb dieser Technologie. Heute dient der Forschungsreaktor der Bereitstellung von Neutronen für die Materialforschung. Sie sind ein wichtiges und vielseitiges Hilfsmittel bei der Erforschung der Eigenschaften von Festkörpern und Flüssigkeiten. Dadurch gelangen mit den Methoden der Neutronenstreuung Einblicke in einen Werkstoff bis hin zu seinem atomaren Aufbau und ermöglichen es, beispielsweise mikroskopisch nicht sichtbare Materialfehler zu erkennen. Die Untersuchungen mit Neutronen spielen demnach eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung und Qualitätssicherung von High-Tech-Produkten.

Der Betrieb einer wissenschaftlichen kerntechnischen Anlage und die Nutzung von Radioaktivität ruft stets auch Ängste und Skepsis hervor, die sich in der Diskussion um die Leukämieerkrankungen in der Elbmarsch bei Geesthacht deutlich widerspiegeln. Trotz intensiver Ermittlungen durch Expertenkommissionen sind die Ursachen unklar geblieben, auch wenn manche Kernkraftgegner anderes behaupten. GKSS wünscht sich und ganz besonders den betroffenen Menschen in der Region, dass die Ursachen dieser Erkrankungen endlich gefunden werden und wird nach Kräften die Forschungen nach den Ursachen weiter unterstützen.

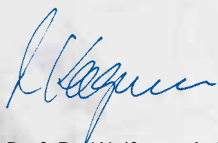
Es gehört zum Selbstverständnis von GKSS, die aktuellen Forschungsergebnisse und deren Anwendungsoptionen einer interessierten Öffentlichkeit anschaulich und verständlich zu vermitteln. In diesem Sinne eröffnet GKSS durch allgemeinverständliche Jahresberichte, Radio- und TV-Sendungen oder ‚Tage der offenen Tür‘ und Wettbewerbe wie ‚Verständliche Wissenschaft‘ Einblicke in die Arbeitswelt und die Ergebnisse einer modernen Großforschungseinrichtung. Eine besondere Investition in die Zukunft ist das Schülerlabor ‚Quantensprung‘, in dem Schülerinnen und Schüler auf verständliche Weise einen realitätsnahen Eindruck vom breiten Spektrum der Natur- und Ingenieurwissenschaften erhalten.

Die Geschichte der GKSS ist ein beeindruckender Ausschnitt aus einem halben Jahrhundert Forschung von den Grundlagen zur technischen Innovation. Oft waren die großen Forschungsthemen durch Veränderungen des gesellschaftlichen Bewusstseins geprägt. So wurde ein Wandel im umwelt- und gesellschaftspolitischen Bewusstsein zu Beginn der 1970er Jahre unter anderem durch die Ölkrise ausgelöst. Dadurch rückten die damals noch relativ unerschlossenen marinen Ressourcen ins Zentrum wissenschaftlicher Forschung. Durch die Entwicklung von Unterwassersimulationsanlagen und -techniken entstanden unter anderem die Voraussetzungen dafür, dass Taucher in bislang unerreichbaren Meerestiefen qualitativ hochwertige Schweiß- und Wartungsarbeiten durchführen und damit zur wirtschaftlichen Erschließung von weit unter der Wasseroberfläche gelegenen Öl- und Gasfeldern beitragen konnten.

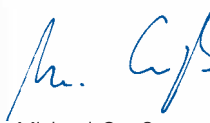
Gegen Ende der 1980er Jahre richtete sich, ebenfalls angetrieben durch eine Veränderung des gesellschaftlichen Bewusstseins, das wissenschaftliche wie wirtschaftliche Interesse schließlich stärker auf neue Wege der nachhaltigen und schonenden Ressourcennutzung. Jetzt gewann auch die Forschung zur nachhaltigen Nutzung des Lebensraums Küste und die Entwicklung Ressourcen schonender Materialien eine bis heute anhaltende Bedeutung.

Diese Festschrift blickt von der Gründerzeit von GKSS bis in die Gegenwart und bietet einen Ausblick auf zukünftige Perspektiven. In diesen Aussichten verbinden sich ertragreich und viel versprechend Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft – und darin erweist sich einmal mehr die Berechtigung des GKSS-Claims „wissen schafft nutzen“.

Geesthacht, im April 2006



Prof. Dr. Wolfgang A. Kaysser
wissenschaftlicher Geschäftsführer



Michael Ganß
kaufmännischer Geschäftsführer



1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronen- streuung für die Wissenschaft

Wie alles anfang und warum die Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH, kurz GKSS, nach 650.000 Seemeilen einen neuen Kurs eingeschlagen hat.

Ein Bericht über eine Reise, die 1956 begann ...

1956

1960

1970

1980

1990

2000

2006

1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronenstreuung für die Wissenschaft

1.1 Kernenergie für die Schifffahrt: Die Gründung der GKSS 1956

1.1 Kernenergie für die Schifffahrt: Die Gründung der GKSS 1956

Im Jahre 1955 legten die Pariser Verträge die Stellung der Bundesrepublik Deutschland innerhalb der westlichen Staatengemeinschaft fest und erlaubten auch deutschen Forschern die Beteiligung an der Atomforschung. Im selben Jahr begannen in Hamburg die Vorbereitungen zur Entwicklung eines Kernenergieantriebs für Frachtschiffe. In kurzer Zeit ließen sich die vier Küstenländer Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen und Niedersachsen ebenso wie zahlreiche Unternehmen von der Bedeutung und den Erfolgsaussichten eines derartigen Projekts überzeugen. Mit Hilfe der Schiffbautechnischen Gesellschaft und der Hamburger Wirtschaftsbehörde konnte schließlich auch das Bundesministerium für Atomfragen als wichtigster Förderer gewonnen werden. Am 18. April 1956 wurde dann die Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH (GKSS) mit einem feierlichen Festakt in den Räumen der Hamburger Handelskammer unter Anwesenheit der Landesminister und Senatoren für Wirtschaft der vier Küstenländer sowie Vertretern des Bundesministeriums für Atomfragen gegründet.

Bereits ein Jahr zuvor, im Juli 1955, hatten die Initiatoren der geplanten Forschungseinrichtung die Studiengesellschaft für Kernenergieverwertung in Schifffahrt und Industrie e.V. (KEST) gegründet. Deren satzungsgemäße Aufgabe bestand darin, die Verwertung der Kernenergie in Schifffahrt und Industrie mit dem Ziel zu erforschen, die Bedingungen für die Erstellung von wirtschaftlich rentablen Kernreaktoren für diese Zwecke in allen Einzelheiten praktisch zu klären.

Mit der Gründung der Betriebsgesellschaft GKSS durch die KEST wurden die Voraussetzungen geschaffen, für die Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten Fördermittel der vier Küstenländer und des Bundes zu erhalten. Bereits einen Monat nach der Gründung der Gesellschaft teilte die Hamburger Behörde für Wirtschaft und Verkehr im Auftrag der vier Küstenländer mit, für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Rahmen der ersten Ausbaustufe 450.000,- DM zu bewilligen und wenig später signalisierte das Atomministerium die Bereitstellung von 1,3 Mio. DM.

1955 • Beschränkung der Nutzung von Kernenergie entfällt.

1956

Derart politisch abgesichert und mit breiter Unterstützung aus Wirtschaft und Wissenschaft gingen die Wissenschaftler der GKSS an die Realisierung des Projekts Forschungsreaktor.

60

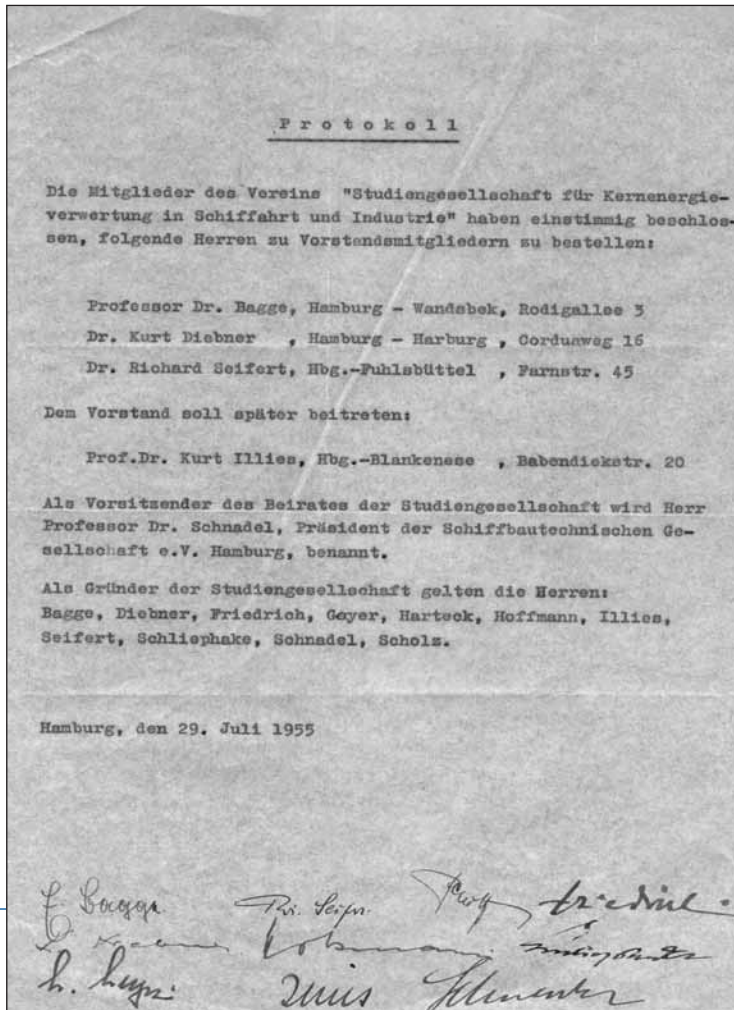
70

80

90

00

2006



Protokoll der Gründungssitzung der Studiengesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffahrt und Industrie vom 29. Juli 1955.

1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronenstreuung für die Wissenschaft

1.2 Die Forschungsreaktoren: FRG-1 (1958 bis heute) und FRG-2 (1963-1995)



GESELLSCHAFTS- UND TRÄGERSTRUKTUR DER GKSS

Die GKSS wurde als GmbH gegründet, die gemeinnützige Ziele verfolgt und hat diese Rechtsform bis heute beibehalten. In den Anfangsjahren war sie eine Betriebsgesellschaft der Studiengesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffahrt und Industrie (KEST) sowie von Anteilseignern aus der Industrie. Zuschüsse seitens der Gesellschafter sowie des Bundes und der Küstenländer wurden von Jahr zu Jahr neu ausgehandelt.

Der mit den Aufgaben rasch steigende Finanzierungsbedarf machte aber bereits nach vier Jahren ein neues Arrangement nötig: 1960 schloss GKSS mit dem Bund und den vier Küstenländern einen Konsortialvertrag mit 10 Jahren Laufzeit, demzufolge die Zuschüsse zu 60 % durch den Bund und zu 40 % durch die Küstenländer zu tragen seien – abgesehen von Einzelprojekten, bei denen auch Unternehmen als Finanziers auftraten. Haushaltsrechtliche Bestimmungen machten es dabei zugleich nötig, dass der Bund und die beteiligten Länder auch als Gesellschafter auftraten.

In den 1960er Jahren wurde jedoch absehbar, dass der langfristige Finanzierungsbedarf moderner Großforschung bald Größenordnungen annehmen würde, denen nur noch auf Bundesebene entsprochen werden konnte. 1972 trat ein neuer und bis heute gültiger Konsortialvertrag in Kraft, der das Finanzierungsgewicht fast vollständig zu Gunsten des Bundes verschob: 90 % der Zuschüsse wurden von nun an durch den Bund aufgebracht. Die Länder Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen und Bremen, später Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen und Brandenburg trugen und tragen die übrigen 10 %.

1.2 Die Forschungsreaktoren: FRG-1 (1958 bis heute) und FRG-2 (1963-1995)

Kurz nach Gründung der GKSS fiel die Entscheidung, einen Swimmingpool-Reaktor bei dem deutschen Tochterunternehmen des amerikanischen Herstellers Babcock & Wilcox in Auftrag zu geben. Neben seiner Hauptaufgabe, die Entwicklung des Kernenergieantriebs voranzutreiben, sollte der Reaktor der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses dienen und allen Forschern die Möglichkeit eröffnen, Erfahrungen in dieser neuen Form der Energiegewinnung zu sammeln. Einen zusätzlichen Nutzen sahen die Initiatoren von GKSS außerdem im Einsatz des Reaktors als Forschungseinrichtung für technologische Untersuchungen.

Nachdem die Wahl für den Standort des Forschungszentrums auf das Gelände der Dynamit-Nobel-AG in Geesthacht-Tesperhude gefallen und Ende 1956 der Ankauf abgeschlossen war, begannen im Mai 1957 die Bauarbeiten für das Reaktorgebäude. Nach 15 Monaten erfolgte im August 1958 der Einbau des von Babcock & Wilcox angefertigten Reaktors, dessen 25 Brennelemente insgesamt 3,5 kg Uran 235 in 20-prozentiger Anreicherung enthielten.

Zur Ausstattung des Forschungsreaktors Geesthacht 1 (FRG-1) gehörten ein vierteiliges, 30 m langes Reaktorbecken, eine Experimentierhalle und eine so genannte Heiße Zelle (Betonzelle), die die Handhabung radioaktiven Materials ermöglichte. Das Becken war von vornherein so angelegt, dass der Reaktor entsprechend unterschiedlicher Betriebsweisen und Experimentiereinrichtungen in den vier durch Schotten abgetrennten Beckenteilen bewegt werden konnte. Am 23. Oktober 1958 wurde der Reaktor zum ersten Mal in Betrieb genommen und erreichte in nur wenigen Monaten seine Maximalleistung von 5 MW.

Neben der Entwicklung des Schiffsantriebs waren die ersten Jahre ebenfalls von Forschungen zur Reaktorsicherheit geprägt. Für Vortests der Brennelemente, die im Reaktor der NS OTTO

1956

60

70

80

90

00

2006

1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronenstreuung für die Wissenschaft

1.2 Die Forschungsreaktoren: FRG-1 (1958 bis heute) und FRG-2 (1963-1995)

HAHN Verwendung finden sollten, wurde 1962/63 eine Anlage für Nullleistungsexperimente (ANEX) errichtet. Diese diente in den folgenden Jahren auch zur Durchführung verschiedener Tests für Brennstabanordnungen anderer Reaktoranlagen.

Da sich das GKSS-Forschungszentrum schnell einer großen Attraktivität innerhalb der Forschergemeinde erfreute, konnten bereits 1963 die Kapazitäten durch die Installation eines zweiten Forschungsreaktors FRG-2 im vierten Reaktorbecken ausgeweitet werden. Ebenso wie der FRG-1 war auch der FRG-2 ein Swimmingpool-Reaktor und wurde zunächst mit einer Leistung von maximal 5 MW betrieben. 1967 wurde die Erhöhung der Leistung auf 15 MW genehmigt. Dank seiner Leistungsfähigkeit setzte sich der FRG-2 an die Spitze der damaligen deutschen Forschungsreaktoren. Mit einer maximalen Neutronendurchflussdichte von 10^{14} n/cm² in der Sekunde konnten Bestrahlungsexperimente nun auch unter wirtschaftlichen Effizienzkriterien durchgeführt werden.

1967 ging ebenfalls ein neuer Trakt mit Heißen Zellen in Betrieb, die die alte Betonzelle ergänzten und die Durchführung verschiedener Untersuchungen gestatteten. Das GKSS-Forschungszentrum verfügte nun über drei Betonzellen, in denen sowohl Bestrahlungskapseln als auch Loopeinsätze, geschlossene Rohrkreisläufe zur Prüfung von Materialien und Einzelteilen, sowie Brennelemente zerlegt werden konnten. Daneben verfügte die Einrichtung über neun Bleizellen, die bei technologischen Forschungen und Experimenten aus dem Bereich der Heißen Chemie und der Metallografie zum Einsatz kamen.

1963 • Installation eines zweiten Forschungsreaktors, FRG-2.



1956

60

70

80

90

00

2006

Ausgestattet war der Forschungsreaktor Geesthacht 1 (FRG-1) mit einem vierteiligen, 30 m langen Reaktorbecken, einer Experimentierhalle und einer so genannten Heißen Zelle, die die Handhabung radioaktiven Materials ermöglichte.

1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronenstreuung für die Wissenschaft

1.3 NS OTTO HAHN: Hochtechnologie für die Praxis (1963-1982)



DAS GELÄNDE IN GEESTHACHT UND SEINE VORLÄUFER

Das Gelände, auf dem heute die GKSS-Gebäude und Anlagen stehen, ist ein Ort der Wissenschaftsgeschichte. 1865 war das Dorf Geesthacht „beiderstädtisch“ sowohl von Hamburg als auch von Lübeck regiert und verfügte über erste Industrieansiedlungen. Hier erwarb der aus Schweden kommende Chemiker Alfred Nobel zusammen mit Geschäftspartnern ein 42 ha großes Ufergrundstück, genannt „der Krümmel“, und ließ dort eine Fabrik für Nitroglycerin errichten. Der Standort empfahl sich nicht nur durch die Nähe zur Weltstadt Hamburg, der Hamburger Hafen war auch einer der größten Umschlagplätze für Salpeter in Europa, einem der Grundstoffe für die Herstellung von Nitroglycerin.

Als bereits einen Monat nach Inbetriebnahme die Fabrik durch eine Explosion zerstört wurde und dabei mehrere Mitarbeiter ums Leben kamen, hätte das um ein Haar das Aus für den Chemie-Standort bedeutet, denn die Dorfvertreter wandten sich energisch gegen eine Wiederaufnahme der Arbeit. Sie konnten sich zwar nicht durchsetzen, aber der Wiederaufbau des Werks dauerte mehrere Monate und Nobel nutzte diese Zeit für die Suche nach einem sichereren Sprengstoff.

Er experimentierte in einem provisorischen Labor auf einer bei Grünhof verankerten Schute und erfand schließlich im Herbst 1866 das Dynamit. Rückstände von Kieselalgen, die bis dahin nur als Verpackungsmaterial gedient hatten, wurden als Bindemittel für das flüssige Nitroglycerin verwendet. Das verringerte zwar die Sprengkraft, aber die neugewonnene Substanz konnte nur noch durch einen Zünder zum Explodieren gebracht werden und ließ sich daher sicher transportieren und handhaben.

Der neue Sprengstoff erlangte schnell große Bedeutung, im Tunnel- und Kanalbau ebenso wie beim Militär, und machte den 1873 nach Paris übergesiedelten Nobel zu einem wohlhabenden Mann. Die Fabrik bei Geesthacht entwickelte sich bis zur Jahrhundertwende zur größten Sprengstoff-Fabrik Europas. Nach dem II. Weltkrieg wurde sie demontiert und zurückblieb ein Stück Industriebrache – bis 1957 GKSS einen Teil des Geländes kaufte.

1961 • Der Auftrag zum Bau der OTTO HAHN wird erteilt.

1.3 NS OTTO HAHN: Hochtechnologie für die Praxis (1963-1982)

Die Entwicklung eines wirtschaftlich nutzbaren Nuklearantriebs für Schiffe bildete das primäre Ziel von GKSS. Nachdem die Pläne zur Entwicklung eines organisch moderierten Reaktors (OMR) mit 10.000 WPS, der in einen ausrangierten Tanker eingebaut werden sollte, wieder fallen gelassen wurden, entschied sich GKSS, ein neues Schiff zu bauen und mit einem Druckwasserreaktor integrierten Typs zu bestücken. Am 5. Oktober 1961 wurde im Aufsichtsrat von GKSS die grundsätzliche Entscheidung zum Bau des ersten deutschen Nuklearschiffs getroffen. Um interessierten Werften die Gelegenheit zu geben, Erfahrungen im Bau von Kernenergieschiffen zu sammeln, ging eine Ausschreibung an die elf deutschen Großwerften und am 28. November 1961 erging an die Kieler Howaldtswerke der Auftrag, für 19 Mio. DM einen Erzfrachter zu bauen.

Gemeinsam mit der deutschen Babcock und der Interatom GmbH wurde der leichte und kompakte, zugleich aber leistungsstarke „Fortschrittliche Druckwasser Reaktor“ (FDR) entwickelt.



*oben: FDR-Regelstäbe im Test auf dem Schlingerstand.
rechts: Franz Josef Strauß und Kai Uwe von Hassel besichtigen ein Modell der NS OTTO HAHN.*

1956

60

70

80

90

00

2006

1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronenstreuung für die Wissenschaft

1.3 NS OTTO HAHN: Hochtechnologie für die Praxis (1963-1982)



KERNENERGIEANTRIEB

Mit der USS NAUTILUS setzte sich 1955 erstmals ein U-Boot mittels Reaktorantrieb in Bewegung. 1958 gelang der NAUTILUS die erste Unterquerung der Nordpol-Eisdecke – auch jenseits des symbolischen Werts ein bedeutender Vorgang, denn damit ergab sich eine neue strategische Option für den Fall eines Krieges mit der Sowjetunion. Diese konnte allerdings im gleichen Jahr ebenfalls ein erstes Atom-U-Boot, die LENINSKI KOMOSOL, in Betrieb nehmen und vier Jahre später mit einer Nordpolunterquerung gleichziehen.

Die Sowjetunion war es auch, die 1958 das erste zivile Schiff mit Atomantrieb fertig stellte: den Eisbrecher LENIN. Die eigentliche mit der Nutzung der Kernenergie in der zivilen Schifffahrt verbundene Hoffnung und zugleich Schwierigkeit war allerdings die eines sich wirtschaftlich rechnenden atomgetriebenen Frachtschiffes. Das erste Test-Schiff dieser Art wurde die 1962 in Betrieb genommene US-amerikanische SAVANNAH, das zweite die bundesdeutsche NS OTTO HAHN.

Die Atom-Utopien der 1950er und 1960er Jahre gingen allerdings noch viel weiter: In den USA wurde zeitweise auch an der Entwicklung atombetriebener Züge, Flugzeuge und Luftschiffe gearbeitet. Alle diese Nachrichten lösten in der Öffentlichkeit eine Atomzeitalter-Euphorie aus, so dass in der populärwissenschaftlichen („futuologischen“) Literatur der Zeit sogar über atombetriebene Autos und private Atomstromgeneratoren im Garten spekuliert wurde.

In der Realität sollte sich allerdings schon der Einsatz in der Frachtschifffahrt als problematisch erweisen. Sowohl in der Bundesrepublik als auch in den USA und in Japan, das ebenfalls 1972 einen Atomfrachter in Betrieb genommen hatte, kamen Wirtschaftlichkeitsanalysen zu ernüchternden Ergebnissen. Insbesondere die Einbeziehung der Wartungskosten und die komplexe Frage der Hafen-Anlauf-genehmigungen führten schließlich dazu, dass die Idee einer atomgetriebenen Handelsschifffahrt im Laufe der 1970er Jahre aufgegeben wurde. So finden sich auch heute Atomreaktoren nur an Bord von U-Booten, Flugzeugträgern und Eisbrechern.



Die NS OTTO HAHN vor dem Zuckerhut in Rio de Janeiro.

1964 • Stapellauf der NS OTTO HAHN.



In Geesthacht entstanden gleichzeitig zahlreiche neue Experimentiereinrichtungen, die der Entwicklung des neuen Schiffstyps und seines Antriebs dienen. So wurde 1961 eine große Schlingeranlage installiert, die es ermöglichte, Bauteile des Reaktors unter Seegang simulierenden Bedingungen (wie z. B. Stampfen, Rollen oder Vibrieren) zu testen. Einrichtungen für Abschirmungsexperimente, Rohrleitungssysteme usw. sollten aber nicht nur dem projektierten Nuklearschiff selbst, sondern auch einem inzwischen angelaufenen typenunabhängigen Forschungsprogramm für Kleinreaktoren dienen.

Ein erstes Ziel der Entwicklung war am 13. Juni 1964 erreicht: In Anwesenheit seines Namensgebers lief das NS OTTO HAHN getaufte Forschungsschiff auf den Kieler Howaldtswerken vom Stapel. Nach der ersten Werksprobefahrt am 14. Dezember 1967 und der Übergabefahrt am 1. Februar 1968 – beide noch mit konventionellem Antrieb – fand am 11. Oktober 1968 unter den Augen des Bundesforschungsministers die erste Fahrt mit Reaktorbetrieb statt. Nach zahlreichen Sicherheitszertifizierungen durch verschiedene nationale und internationale

Der Rohbau der NS OTTO HAHN auf der Werft der Kieler Howaldtswerke.

1956

60

70

80

90

00

2006

1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronenstreuung für die Wissenschaft

1.3 NS OTTO HAHN: Hochtechnologie für die Praxis (1963-1982)



NUTZUNG DER KERNENERGIE FÜR DIE BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Die Nutzung von Kernenergie war in der jungen Bundesrepublik ein hoch sensibles Politikum. Die Haltung von Politik und breiter Öffentlichkeit in der Nachkriegszeit war uneinheitlich. Viele verbanden mit der Kernenergie vor allem deren militärische Nutzung und hatten dabei noch die erschreckenden Bilder aus Hiroshima und Nagasaki vor Augen. Das nukleare Wettrüsten zwischen den USA und der Sowjetunion – die seit 1949 ebenfalls im Besitz der Atombombe war – löste zusätzlich erhebliche Ängste aus. Daneben führte aber spätestens die erste internationale Konferenz zu Kernenergiefragen, die die UN 1956 in Genf abhielten, zu einer wahren Atom-Euphorie, die das Atom-Zeitalter einläutete. Schließlich kam hinzu, dass die Alliierten nach dem II. Weltkrieg in Deutschland jede Nuklearforschung verboten hatten.

Das änderte sich am 5. Mai 1955. An diesem Datum traten die Pariser Verträge in Kraft und die noch junge Bundesrepublik Deutschland der Westeuropäischen Union und der NATO bei. Zugleich entfielen auch die Beschränkungen für den Einsatz von Kerntechnik in Forschung und Anwendung, insbesondere beim Bau von Reaktoren, die zuvor bestanden hatten. Der Weg zur Nutzung der weltweit auf dem Vormarsch befindlichen neuen Möglichkeit der Energiegewinnung war damit für die Bundesrepublik frei.

Die Vorbereitungen auf diesen Tag liefen bereits seit 1952, als zum einen die Kommission für Atomphysik der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gegründet worden war und zum anderen Konrad Adenauer die Zusammensetzung des Gremiums zur Vorbereitung der deutschen Kernenergie im Bundeswirtschaftsministerium initiierte. Zeitgleich mit dem Abschluss der Pariser Verträge konnte so 1955 das Bundesministerium für Atomfragen eröffnet und Franz Josef Strauß der erste Atomminister der Bundesrepublik Deutschland werden.

Die von Adenauer geführte Bundesregierung verfolgte zunächst auch das Ziel einer Nuklearbewaffnung der Bundeswehr. Dies stieß jedoch bei großen Teilen der Bevölkerung auf Ablehnung: Unter der Losung „Kampf dem Atomtod!“ gab es 1957/58 eine breite Protestbewegung und führende Nuklearforscher, unter ihnen auch Otto Hahn, unterzeichneten den Göttinger Appell gegen eine Atombewaffnung der Bundeswehr. Ebenso wenig behagte den NATO-Partnern der Bundesrepublik die Vorstellung einer deutschen Atom-Macht. Endgültig aufgegeben wurden die Pläne einer Nuklearbewaffnung der Bundeswehr 1969, als die Bundesrepublik den Atomwaffensperrvertrag unterzeichnete.

Mit der Aufgabe aller Pläne einer Atombewaffnung war es letztlich möglich geworden, dass die tatsächlich stattfindende friedliche Nutzung der Atomkraft zunehmend von ersterer getrennt gesehen wurde und die Haltung weiter Teile der Öffentlichkeit gegenüber den Möglichkeiten der Kernkraft entschieden positiver wurde.

1968 • Erste reaktorgetriebene Fahrt der OTTO HAHN.

1956



60

70

80

Prüf- und Zertifizierungsinstitutionen wurde am 6. Februar 1969 auch die Genehmigung zur Fahrt auf allen Weltmeeren erteilt. Nun begann der umfangliche Praxistest, der in erster Linie wissenschaftliche Erkenntnisse über die Arbeit des Schiffsreaktors und seine Optimierungsmöglichkeiten bringen sollte, aber auch den Beweis, dass ein Kernenergieschiff tatsächlich wirtschaftlich zu betreiben war.

90

In ihrer 10-jährigen Betriebszeit unternahm die NS OTTO HAHN 131 Reisen in 22 Staaten; 58 Forschungsreisen und 73 Frachtfahrten, wobei sie fast 650.000 Seemeilen zurücklegte. Transportiert wurden Massengüter wie Erz, Kohle, Phosphat und Getreide, für die die NS OTTO HAHN als Erzschiff ausgelegt war – insgesamt 776.000 t. Obwohl 1972/73 ein zweiter von GKSS weiterentwickelter und leistungsstärkerer

00



*Der Stapellauf war ein großes mediales Ereignis.
unten: Professor Otto Hahn bei der Schiffstaufe.*

2006

1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronenstreuung für die Wissenschaft

1.3 NS OTTO HAHN: Hochtechnologie für die Praxis (1963-1982)



DER FORSCHER OTTO HAHN



Als am 13. Juni 1964 in Kiel das erste und einzige Kernergieschiff der Bundesrepublik vom Stapel lief, war ein Mann anwesend, der die Kernphysik des 20. Jahrhunderts maßgeblich geprägt hatte und der Namenspatron des Schiffes war: Professor Dr. Otto Hahn.

Angefangen hatte die Karriere des am 28. März 1879 in Frankfurt am Main als Sohn eines Glaserei-Unternehmers geborenen Otto Hahn auf einer Oberrealschule. Dort entdeckte er seine Neigung zu den Naturwissenschaften, begann anschließend in Marburg Chemie zu studieren und promovierte 1901 „Über Bromderivate des Isoeugenols“, ein Thema aus der organischen Chemie. Nach dem Militärdienst und einer kurzen Zeit als Assistent an der Universität Marburg, wurde er 1904 am University College London Mitarbeiter von William Ramsey. Hier wandte er sich erstmals intensiver dem Bereich Radiochemie zu und entdeckte das zunächst so genannte Radiothorium – ein radioaktives Isotop des Thoriums. Damit hatte Otto Hahn seine zukünftige Forschungsrichtung gefunden. Um sich weiter zu spezialisieren, wechselte er 1905 an die McGill-Universität in Montreal zu Ernest Rutherford.

Bereits 1907 kehrte Hahn nach Deutschland zurück und habilitierte sich am Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin. Hier lernte er im gleichen Jahr auch die Physikerin Lise Meitner kennen, mit der ihn eine lange und fruchtbare wissenschaftliche Zusammenarbeit verbinden sollte. 1938 leistete Otto Hahn seinen wichtigsten Beitrag zum Wissenschaftsfortschritt, als er zusammen mit Fritz Straßmann die Kernspaltung entdeckte.

Ausgehend von der damaligen Annahme, dass die Elemente mit Ordnungszahl über 92 durch den Beschuss von Urankernen mit Neutronen entstünden, untersuchten sie entsprechend bestrahltes Uran nach Transuranen. Worauf sie stießen, waren aber Spuren von Barium und bewiesen damit eine frühere Vermutung der Chemikerin Ida Noddack-Tacke, dass die Kerne durch diesen Beschuss in größere Bruchstücke zerfallen, die zwar Isotope bekannter Elemente, aber nicht Nachbarn der bestrahlten Elemente sind.

Für seine Arbeiten zur Kernspaltung erhielt Otto Hahn 1945 den Chemie-Nobelpreis – konnte ihn aber erst 1946 in Empfang nehmen, nachdem er und zahlreiche andere deutsche Atomphysiker aus britischer Internierung entlassen worden waren.

Die Berichte und später die Bilder aus Hiroshima schärften Hahns Bewusstsein für die Verantwortung der Wissenschaft. In der jungen Bundesrepublik wurde er zu einem der Kritiker der diskutierten Bewaffnung der Bundeswehr mit Atomwaffen und als einer der Initiatoren unterzeichnete er 1957 den Göttinger Appell der deutschen Atomforscher gegen dieses Vorhaben.

Otto Hahn starb am 28. Juli 1968.

1979 • NS OTTO HAHN nach 10-jährigem störungsfreiem Betrieb stillgelegt.

1956



60

70

80

Kern eingesetzt werden konnte, kristallisierte sich dennoch immer stärker heraus, dass der erhoffte Beweis der Wirtschaftlichkeit nicht zu erbringen sein würde. Diese Erkenntnis untermauerten sowohl die Ergebnisse der bei GKSS betriebenen Forschungen zu den nuklearen Containerschiffen NCS80 und NCS240 als auch die Abschlussberichte anderer internationaler Forschungsinstitutionen.

90

So entschlossen sich die Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und GKSS, die NS OTTO HAHN nach 10-jährigem störungsfreiem Betrieb still zu legen. Das Schiff wurde im Februar 1979 außer Betrieb gesetzt. Nach Erteilung der Stilllegungsgenehmigung (Ende 1980) wurden die kerntechnischen Anlagen ausgebaut. Die Stilllegung kostete insgesamt 46 Mio. DM, von denen allein 17 Mio. DM auf die Lagerung und Wiederaufbereitung der Brennstäbe entfielen. Als die Hamburger Behörden im Juni 1982 die Auflagen zum Strahlenschutz aufhoben und das Schiff freigaben, war für GKSS das Experiment Atomschiff beendet.

00



2006

oben: Das „Gehirn“ der NS OTTO HAHN, der Maschinen- und Reaktor-Leitstand.
rechts: Die NS OTTO HAHN auf Erprobungsfahrt.

1.4 Reaktorsicherheit (1975-1987)

Bei der Entwicklung der NS OTTO HAHN standen nicht zuletzt sicherheitstechnische Fragen im Vordergrund und zwar mit dem Ziel, einen kompakten Antrieb zu entwickeln, der den hohen Belastungen durch den Schiffsbetrieb gewachsen war. Als eigenständiger Forschungsschwerpunkt jedoch wurde Reaktorsicherheit erst 1974 eingerichtet. Dabei sollten theoretische und praktische Arbeiten im Rahmen des Reaktorsicherheitsprogramms des Bundes durchgeführt werden. Im Bewusstsein der zunehmenden Bedeutung dieses Themas ging man bei GKSS auch vielfältige internationale Kooperationen ein: GKSS beteiligte sich an länderübergreifenden Projekten wie ab 1972 im schwedischen Marviken, wo in einem nie in Betrieb genommenen 140 MW-Kernkraftwerk Kühlmittelverluststörfälle simuliert wurden. Außerdem wurde die Ausarbeitung von Sicherheitsstandards für Kernenergieschiffe im Rahmen der „Ad hoc Working Group on the Safety of Nuclear Ships“ der OECD / NEA wie des „Sub-Committee on Ship Design and Equipment“ der IMCO unterstützt.

Im Kontext des neuen Forschungsgebiets sollte der Nachweis erbracht werden, dass die Notkühlung und das Containment (der Sicherheitsbehälter) eines nuklear angetriebenen Frachtschiffes beim Auslegungsstörfall (gaU – größter anzunehmende Unfall) ihren Dienst sicher versehen. Dafür wurde bis 1976 eine Pressure Suppression System-Versuchsanlage (PSS-Versuchsstand) zur Durchführung von Druckabbauversuchen aufgebaut. Mit umfangreichen Versuchen ließ sich belegen, dass das bei GKSS entwickelte schiffsspezifische Druckabbausystem (DAS) funktionssicher war.



*oben: Vorbereitung von Modellkollisionsversuchen im Maßstab 1:12, hier mit dem Vorschiff eines 200.000 tdw-Tankers.
unten: Das zerstörte Vorschiff nach Kollision mit einem Schiffsseitenteil mit Kollisionsschutzkonstruktion.*

1976 • Inbetriebnahme der Pressure Suppression System–Versuchsanlage (PSS).

1956



Dank intensiver Bemühungen gelang es zudem bis 1978, einen Pumpenversuchsstand einzurichten, der es erlaubte, Kühlpumpen mit extrem niedrigen Zulaufhöhen zu untersuchen, was für die Analyse von Kavitationserscheinungen von großer Bedeutung ist. Daran schlossen sich weitere Aktivitäten zur Erforschung von Sicherheitskomponenten und ihren Funktionen in Kernkraftwerken an, wie die Entwicklung und der Betrieb eines Untersuchungsstandes für Nachwärmepumpen (1978), sowie Untersuchungen zur Kavitation in Nachkühlpumpen, der Aufbau und Betrieb eines Wasser-Hochdruck-Versuchsstandes (WHS, 1979) und Forschungen damit zu speziellen Transienten (bis 1984). Dabei wurden thermohydraulische Prozesse und Verläufe im Primärkühlkreislauf des ungestörten und gestörten Reaktorbetriebes theoretisch mit Modellrechnungen sowie experimentell untersucht.

1979 startete unter nationaler und internationaler Beteiligung ein Programm, mit dem am PSS-Versuchsstand detaillierte Untersuchungen an dem in deutschen und ausländischen Kernkraftwerken der Siedewasser-Reaktor-Baulinien eingesetzten Druckabbausystem (DAS) durchgeführt

2006

Vordergrund rechts: Pumpenversuchsstand. Er diente der Erprobung einer Primärkühlmittel-Umwälzpumpe eines integrierten Druckwasserreaktors und war für den Betriebsdruck bis 110 bar und Volumenströme bis 6.000 m³/h ausgelegt.

Hintergrund links: PSS-Versuchsstand für die Untersuchung von Kühlmittelverluststörfällen.

1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronenstreuung für die Wissenschaft

1.4 Reaktorsicherheit (1975-1987)

wurden. Auch in diesem Projekt konnten mit der großmaßstäblichen Versuchsanlage sowohl die sichere Funktionsweise nachgewiesen als auch Maßnahmen zur Minderung der Lasten in Störfällen entwickelt werden.

Ein wichtiger Schritt für die Entwicklung von GKSS stellte die Beteiligung am Komponentensicherheitsprogramm des Bundes dar, das ein Teilprojekt des von der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) koordinierten nationenübergreifenden Programms bildete. GKSS übernahm den Bau einer Bestrahlungseinrichtung für Stahlproben, die für Druckbehälter Verwendung finden sollten und große Abmessungen besaßen. Die ersten Bestrahlungen wurden 1979 durchgeführt. In den folgenden Jahren wurde dieser Bereich noch wesentlich stärker ausgebaut und die Tätigkeiten auf das Gesamtgebiet Materialforschung ausgedehnt.

Mit auf Bundesebene angesiedelten Forschungen zur Sicherheit der so genannten Schnelle Brüter (SBR) wurde ab 1979 auch GKSS in diese Entwicklungen einbezogen und übernahm die Untersuchung von Schlüsselproblemen im Sicherheitsbereich der SBR. In diesem Zusammenhang wurden 1981 Simulationsexperimente und Modellrechnungen durchgeführt, die unter anderem Wechselwirkungen zwischen der SBR-Kühlflüssigkeit Natrium und verschiedenen Betonzusammensetzungen untersuchen und vorhersagen sollten.

Anfang der 1980er Jahre erhielt die GKSS zunehmend Aufträge aus der Industrie. Dazu zählten beispielsweise Untersuchungen von bestrahlten Bauteilen aus Kernkraftwerken oder die Beteiligung an der Entwicklung des „cask for storage and transport of radioactive material“ (CASTOR) zum Transport und zur Lagerung hochradioaktiver Materialien.

Zu dieser Zeit, da abzusehen war, dass sich der Bund aus der Reaktorsicherheitsforschung zurückziehen würde, weil er die Klärung noch offener Fragen als Aufgabe der Hersteller/Betreiber von KKW ansah, wurden von GKSS bereits andere Schwerpunkte in der Forschung gesetzt und weiter ausgebaut. So rückten etwa Werkstoffanalysen stärker in den Vordergrund, mit denen man im Rahmen der Reaktorsicherheitsforschung schon Erfahrungen gesammelt hatte. 1986 wurde der gesamte Schwerpunkt dem neu geschaffenen Bereich Materialforschung zugeordnet.

1.5 Neutronen für die Forschung: Kalte Neutronenquelle und Neutronenstreuungseinrichtung am FRG-1 (seit 1984)

Nach 1984 gelang es GKSS, die Hochtechnologieforschung mit der Installierung einer Kalten Neutronenquelle am FRG-1 einen maßgeblichen Schritt voranzubringen und damit ihre herausragende Stellung als Großforschungszentrum einmal mehr unter Beweis zu stellen. Bis dahin war es zwar bereits möglich gewesen, Experimente mit thermischen und epithermischen Neutronen durchzuführen; aber erst mit der neuen Einrichtung konnte der subthermische Neutronenfluss so weit erhöht werden, dass sich die Möglichkeiten werkstoffphysikalischer Untersuchungen mit Neutronen erheblich erweiterten. Aber auch der gesamte Neutronenfluss konnte seit der Inbetriebnahme mehrfach gesteigert werden, zuletzt 2000 im Rahmen einer Kompaktierung des Reaktorkerns. Dadurch steht der Wissenschaft eine der modernsten Mittelflussneutronenquellen Europas zur Verfügung.

Von Mitte der 1980er bis weit in die 1990er Jahre wurden im Zusammenhang mit dem Umbau des FRG-1 und der Installation der Kalten Neutronenquelle von GKSS auch die Experimentiertechniken zur effektiven Nutzung des höheren Neutronenflusses für gezielte Forschungsprogramme neu- und weiterentwickelt. Man baute Diffraktometer, Reflektometer und zwei Kleinwinkelstreuanlagen sowie eine Neutronenradiographieanlage. Dabei entstanden neuartige Geräte wie die Neutronengeschwindigkeitsselektoren und die Flächendetektoren; hinzu kamen komplexe Experimentiereinrichtungen zur Untersuchung von biologischen Zellstrukturen oder Ober- und Grenzflächen mit polarisierten Neutronen. Inzwischen konnten die Neutronengeschwindigkeitsselektoren und Flächendetektoren zu marktreifen Produkten weiterentwickelt und erfolgreich am Markt platziert werden.

1989 wurde die Kalte Neutronenquelle in Betrieb genommen und der Aufbau der modernisierten



*Tscherenkow-Strahlung des FRG-1;
Kompaktkern mit 12 Brennelementen.*

1956

60

70

80

90

00

2006

1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronenstreuung für die Wissenschaft

1.5 Neutronen für die Forschung: Kalte Neutronenquelle und Neutronenstreuungseinrichtung am FRG-1 (seit 1984)



NEUTRONENSTREUUNG

Neutronen sind für die Werkstoffuntersuchung ein hervorragendes Werkzeug. Ob sie in Gläser oder Keramiken, in Kunststoffe, in Metalle, Proteine, in Aminosäuren oder magnetische Strukturen „hineinsehen“, in jedem Fall erhalten Wissenschaftler und Ingenieure den direkten Zugang zu inneren Strukturen, Anordnungen, magnetischen Eigenschaften, teilweise bis hin zur Bewegung von Atomen. Neutronen haben die Fähigkeit, tief in Materialien einzudringen – ohne sie zu verändern oder zu zerstören – und sie reagieren besonders empfindlich auf Wasserstoff und Magnetismus in Materie.

Da Neutronen als quantenmechanische Teilchen über Welleneigenschaften verfügen, entstehen wie bei sichtbarem Licht Interferenzmuster, wenn sie an Materie gestreut werden. Das Grundprinzip der Neutronenstreuung besteht darin, aus derartigen Interferenzmustern oder Streubildern auf die Struktur der zu

untersuchenden Materie zurückzuschließen. Auf diese Weise kann man zerstörungsfrei Aussagen auf Längenskalen von Bruchteilen von atomaren Abständen bis in den Mikrometerbereich machen, die so mit anderen Methoden nicht zugänglich sind.

Beispiele sind die Bestimmung der Anordnung der Atome in Kristallen und deren Abstandsänderung, die in Bauteilen durch den Herstellungsprozess oder durch den Betrieb zu Eigenspannungen führen, z.B. in Schweißnähten, in Motorgehäusen oder in Turbinenscheiben. Weitere Beispiele sind die Bestimmung von Schichtdicken und Grenzflächenrauigkeiten an Schichtstrukturen, die Analyse von Ausscheidungen und Poren in Legierungen sowie die Untersuchungen komplexer molekularer Strukturen in Kunststoffen oder biologischen Zellen, oder auch die Untersuchung kleinster magnetischer Strukturen für die Rechner-technik.



Ansicht des Instruments ARES zur Analyse von Resteigenspannungen.

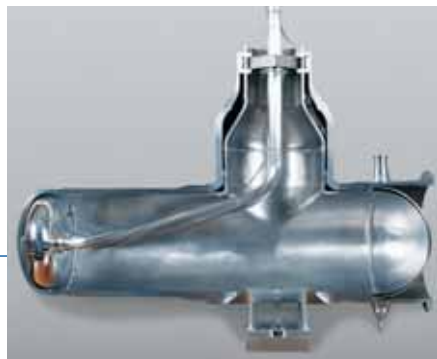
1989 • Die Kalte Neutronenquelle geht in Betrieb.

Streueinrichtung in einer erheblich erweiterten Versuchshalle abgeschlossen. Damit verfügte GKSS über wesentlich verbesserte Möglichkeiten der Forschung, die jetzt mit nahezu allen denkbaren Materialien durchgeführt werden konnte: vom hochfesten Werkstoff bis hin zu hoch organisierten lebenden Zellen. Die zuvor schon eingesetzten und mittlerweile in den Mittelpunkt gerückten polarisierten Neutronen gehören zu den empfindlichsten und vor allem zu den zerstörungsfreien Sonden der Strukturforschung.

Sie sind damit in besonderer Weise geeignet, beispielsweise molekulare Mechanismen von elementaren Lebensvorgängen zu erforschen. Seit 1991 versucht man in Geesthacht, mit gestreuten Neutronen den Fluss der genetischen Informationen von der DNS im Zellkern bis zu ihrer Umsetzung in Fleisch und Blut nachzuvollziehen und die Kenntnisse von zellinneren Prozessabläufen zu verbessern. Man hofft auf diese Weise, zur Entwicklung neuer und verbesserter medizinischer Therapien beitragen zu können. Die Neutronenstreueinrichtung SANS-1 von GKSS avancierte so zum Instrument der Gesundheitsforschung.

Die Neutroneneinrichtungen bei GKSS wurden national und international derart schnell bekannt, dass zahlreiche Anfragen nach Messzeiten eingingen. Vor allem in den Bereichen Stahlegierungen, Schweißverbindungen, Verbundwerkstoffe, Modell-Legierungen, keramische Werkstoffe und Polymere, Kolloide und magnetischen Nanostrukturen traten in- und ausländische Arbeitsgruppen an GKSS heran, um in Geesthacht zu arbeiten. Bereits 1992 waren nicht mehr alle Wünsche für Messzeiten zu erfüllen.

Seit 1997 werden die Neutronenstreueinrichtungen – inzwischen ergänzt um mehrere Instrumente, die von externen Forschergruppen an Universitäten und an der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig betreut und betrieben wurden – als Geesthacht Neutron Facility (GeNF) zur allgemeinen Nutzung durch die Wissenschaft und Industrie angeboten. Dieser internationale Nutzerbetrieb an GeNF durch externe Messgäste wird seitdem stetig ausgebaut und seit 2004 von der EU gefördert.



Die Kalte Quelle: Schnitt durch die Vakuumkammer mit Moderator topf.

1956

60

70

80

90

00

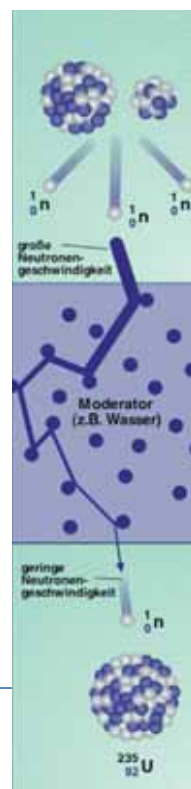
2006

1. Vom Kernenergieantrieb zur Neutronenstreuung für die Wissenschaft

1.5 Neutronen für die Forschung: Kalte Neutronenquelle und Neutronenstreuungseinrichtung am FRG-1 (seit 1984)

Eines wurde bei allen diesen Grundlagenforschungen bei GKSS nie vergessen: Für eine industriell orientierte Volkswirtschaft wie der deutschen ist es von entscheidender Bedeutung, den technologischen Vorsprung auch in Zukunft zu sichern. Das aber kann nur gelingen, wenn schon bei der Entwicklung der Produkte auch die Qualitätssicherung im Vordergrund steht. GKSS bot und bietet durch ihre Einrichtungen, etwa die Neutronenstreuungsanlage, Möglichkeiten, auch serielle Prüfungen von Materialien durchzuführen und erlaubt damit eine Qualitätssicherung, die sich sowohl wissenschaftlich auf der Höhe der Zeit befindet als auch wirtschaftlich rentabel ist. So wurde 1997 eine Neutronen-Radiographie-Anlage in Betrieb genommen, die speziell auf die Untersuchung von Bauteilen ausgerichtet ist. Mit der Neutronen-Radiographie ist es außerdem möglich, sogar große Bauteile zerstörungsfrei zu durchleuchten und das Innere bestimmter Materialien sichtbar zu machen – vergleichbar der Erstellung eines Röntgenbildes beim Menschen. Damit werden von GKSS heute z.B. regelmäßig im Rahmen von Industriaufträgen besonders kritische Komponenten der europäischen Ariane-V Rakete untersucht. Nur nach deren positiver Begutachtung dürfen diese Komponenten wieder in die Rakete eingebaut werden. In jüngster Zeit wurden die Möglichkeiten der Neutronenradiographie noch zur Neutronentomographie erweitert. Damit können sogar 3-dimensionale Bilder der Untersuchungsobjekte erzeugt werden, ähnlich wie bei der Kernspin- oder der Computertomographie in der Medizin.

Heute umfassen die Tätigkeitsspektren der Forscherteams in Geesthacht, die mit der weltweit nahezu einmalig hohen Verfügbarkeit an Neutronen durch die Streueinrichtung bei GKSS arbeiten, ganz verschiedenartige Themen: Die Struktur von weicher Materie wie Membranen wird ebenso analysiert wie die Zusammensetzung von Saurierknochen oder die Funktionsweisen der ökologisch äußerst wertvollen Huminstoffe. Weitere Untersuchungen gelten den inneren Spannungen von Bauteilen, die deren Belastbarkeit bestimmen, oder der kristallinen Vorzugsorientierung (Texturen), die im Rahmen von Produktionsprozessen entstehen und die mechanischen Materialeigenschaften wesentlich beeinflussen; analysiert werden ferner die Ausscheidungen, die die Festigkeit von



Abbremsung schneller Neutronen durch einen Moderator.



metallischen Legierungen bestimmen können. Ein neues Thema ist die Forschung an magnetischen Schichten- und Nanostrukturen wie sie in der Informationstechnologie benötigt werden. Trotz dieser Themenbreite ist im Rahmen der engen Einbindung in das GKSS-Institut für Werkstoffforschung ein weltweit einmaliger Schwerpunkt von Neutronenstreuinstrumenten für die moderne Werkstoffforschung entstanden: Die Hälfte der gesamten Instrumentierung des FRG-1 dient hauptsächlich der Werkstoffforschung.

In den letzten Jahren hat sich GKSS in Ergänzung zur Forschung mit Neutronen zunehmend der Nutzung von Synchrotronstrahlung zugewandt. Diese erlaubt es, bestimmte Experimente schneller und mit höherer Auflösung durchzuführen und eröffnet erstmals die Möglichkeit – z. T. in Echtzeit – die Veränderungen von Werkstoffen nachzuverfolgen. Für derartige Versuche hat GKSS 2005 das neue Experiment HARWI II am benachbarten DESY in Betrieb genommen.

Insgesamt stehen damit sowohl GKSS als auch den vielen externen Messgästen aus Forschung und Industrie hochmoderne Möglichkeiten für die Forschung mit Neutronen und in Zukunft sogar verstärkt mit Synchrotronstrahlung zur Verfügung.

Blick auf die Kleinwinkelstreuanlagen SANS-1 (links im Bild) und SANS-2 (rechts im Bild). Die Kollimationsstrecken sind blau und die Detektorrohre gelb.



2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste

Die Küsten sind die weltweit am dichtesten besiedelten Lebensräume, entsprechend groß sind die vielfältigen Nutzungsansprüche: Häfen, Industrie, Fischerei und Tourismus. Abwässer und Abfälle des Menschen beeinflussen diesen Lebensraum.

Die Wissenschaft analysiert Naturprozesse und Wechselwirkungen und schafft somit auch Grundlagen für politische Entscheidungen.

1956

1960

1970

1980

1990

2000

2006

2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste

2.1 Wasserentsalzung (1970-1982)

2.1 Wasserentsalzung (1970-1982)

1970 wendete GKSS sich dem Thema Trinkwasserentsalzung zu und initiierte eine Reihe von Forschungsprojekten mit dem Ziel, zu wirtschaftlich vertretbaren Konditionen aus ungenießbarem Salz- oder Brackwasser Trinkwasser zu gewinnen („Süßwasser aus dem Meer“). Zu diesem Zweck standen zwei Verfahren zur Verfügung: Die klassische Verdampfung und die neuartigen Membranverfahren. Die Gewinnung von Trinkwasser durch Verdampfung (Destillation) war zwar bereits weltweit im Einsatz, die Kosten jedoch, die etwa für Bewässerungszwecke aufgebracht werden mussten, überstiegen den Rahmen des wirtschaftlich Vertretbaren. Es galt deshalb vor allem, die bei der Energiegewinnung anfallenden Kosten zu senken. Die weniger Energie benötigende Membrantechnik versprach einen solchen Kostenvorteil. Die Forscher in Geesthacht entschieden sich, beide Richtungen zu verfolgen. Sie arbeiteten an der Verbesserung und somit einer Kostensenkung des Verdampferverfahrens durch betriebsnahe Unter-



Wasserentsalzungsanlage an Bord der NS OTTO HAHN.

1971 • Werkstoffuntersuchungen, Membran- und Komponentenentwicklung für die Umkehrosmose und Elektrodialyse.

suchungen über Meerwasserkorrosion, und sie beschäftigten sich vor allem mit der Verfahrensentwicklung für die Wasserentsalzung durch Umkehrosmose (Reverse Osmosis, RO) und Elektrodialyse (ED). Hier stand die technische Infrastruktur der NS OTTO HAHN für den Probetrieb der ersten RO-Anlagen aus eigener Entwicklung zur Verfügung.

Verschiedene innerhalb des Forschungs- und Entwicklungsprogramms (FuE) angesiedelte Vorhaben stellten seit 1971 Werkstoffuntersuchungen, Membran- und Komponentenentwicklungen für die Umkehrosmose und Elektrodialyse ins Zentrum ihrer Arbeit, die bis zu Auslegung, Bau und Betrieb von Pilotanlagen für beide Membranverfahren reichten. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen Probleme der Komponentenfertigung, der Rohwasserbehandlung und der Energieversorgung; auch der Einsatz der Kernenergie in der Wasserentsalzung wurde mit einbezogen. Die Tatsache, dass die Membranentwicklung im weiteren zu einer eigenen Fertigungskapazität führte, sollte nicht zuletzt für die später aufgenommenen Membranverfahren der Gas- und Dämpferpermeation sowie der Pervaporation Bedeutung gewinnen. Die Kooperation mit nationalen und internationalen Partnern gehörte von Beginn an zu diesem Forschungsprogramm.

Bereits 1971 beauftragte das Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft GKSS, in Zusammenarbeit mit der Aria-Mehr-Universität (Teheran) eine Demonstrationsanlage zur Meerwasserentsalzung für den Iran zu entwickeln. Zahlreiche Pilotanlagen an unterschiedlichsten Standorten folgten: In der Haseldorfer Marsch (1976, mit den Hamburger Wasserwerken), in Heikendorf an der Kieler Förde (1977), in El Khanka bei Kairo (1978, mit dem National Research Center, Kairo), auf der Hallig Süderoog unter Verwendung von Windenergie (mit dem Amt für Land- und Wasserwirtschaft), in Saltillo und auf Cozumel (Mexiko) unter Verwendung von Solarstrom (1979). Ferner wurde ein Projekt zur ländlichen Wasserversorgung in Indien (mit dem Bhaba Atomic Research Center, Bombay) und ein vergleichender Großversuch mit einigen kommerziellen Umkehrosmosesystemen in Kuwait unterstützt, den GKSS federführend betreute, der jedoch mit dem irakischen Einmarsch in das Emirat 1991 ein vorzeitiges Ende fand.



Ansicht einer Wasserentsalzungsanlage mit Plattenmodulen in Heikendorf an der Kieler Förde.

1956

60

70

80

90

00

2006

2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste

2.1 Wasserentsalzung (1970-1982)

Die mit der Membrantechnik für die Filterung von Wasser eröffneten Möglichkeiten führten schnell zu einer Verschiebung der Forschungsschwerpunkte auf diesem Gebiet: Themen des Umweltschutzes und der allgemeinen Verbesserung von Wasserqualität rückten zunehmend in den Mittelpunkt. Bereits seit 1972 beschäftigte sich GKSS mit der Reinigung von Industrieabwässern, mit der Abtrennung von umweltschädlichen und wertvollen Produkten aus Wasserkreisläufen und Abwässern sowie mit der Aufbereitung von Flusswasser. 1974 erweiterte sich dieser Bereich auf die qualitative Verbesserung aller für die Versorgung von Menschen benötigten Wasservorräte.

Aus den Arbeiten mit RO-Anlagen entwickelte sich der Forschungsbereich Meerwasserchemie, der 1975 entstand und der die Voruntersuchungen des Wassers einschloss, das in RO-Anlagen gereinigt werden sollte. Die Auswahl der Membranen war in hohem Maße abhängig von der Qualität und der Zusammensetzung dieses Wassers. Von diesen Forschungen kann man eine Linie weiter zur Umweltforschung ziehen, die von GKSS immer stärker ausgebaut wurde.

Das von GKSS entwickelte Plattenmodulkonzept bei den RO-Anlagen wurde zwar von Anfang an durch Lizenznahmen aus der Industrie anerkannt und gefördert, konnte sich jedoch in seiner ursprünglichen Form gegen konkurrierende Systeme nicht durchsetzen. Die aus diesem Konzept hervorgegangenen kostengünstigeren Taschen- und Kassettensysteme finden hingegen vielfältige Verwendung; und zwar nicht nur in der Wasserentsalzung und Abwasser-aufbereitung (vor allem auf Schiffen), sondern auch in der Gastrennung und Dampfpermeation sowie bei der Flüssigtrennung durch Membranen. Als zu Beginn der 1980er Jahre deutlich wurde, dass die Entwicklung in der Wasserentsalzung einen Abschluss erreicht hatte, richteten sich die vorhandenen Kapazitäten auf diese neuartigen Membrantrennverfahren. Insbesondere die bei der Meerwasserentsalzung gewonnenen Erkenntnisse gaben den Ausschlag dafür, dass auch den Forschungen zu marinen Ressourcen zunehmend Bedeutung geschenkt wurde.

2.2 Meeres- und Unterwassertechnik (1970-1993)

Als die Forschungen bei GKSS Ende der 1960er Jahre auf neue Gebiete ausgeweitet wurden, gehörten dazu die Reaktorsicherheit, der Hochtemperaturreaktor und die Meerwasserentsalzung sowie die Meerestechnik. In dieser glaubte man ausreichend Chancen zu sehen, die in der Kernenergieschiffsentwicklung gewonnenen Kompetenzen einsetzen zu können, auch wenn das Gebiet der Meerestechnik zu Beginn der 1970er Jahre noch technologisches Neuland darstellte. Das wachsende Bewusstsein von abnehmenden Roh- und Brennstoffressourcen ließ jedoch weltweit das Interesse an der Erschließung mariner und submariner Vorkommen



Das Unterwasserlabor HELGOLAND wird mit einem Schwimmkran am Einsatzort zu Wasser gelassen.

1956

60

70

80

90

00

2006

2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste
2.2 Meeres- und Unterwassertechnik (1970-1993)



Unterwasserlabor HELGOLAND.

1978 • Pilot-Mining-Test (PMT) im Zentralpazifik – Manganknollen aus 5000 m Tiefe.

rapide ansteigen. Hierzu wollten Forscher der GKSS mit ihren Arbeiten einen Beitrag leisten. In den nächsten Jahren stießen sie mit ihren Projekten in zahlreiche neue Aufgabenfelder vor. Sie setzten unter anderem bei autonomen nuklearen und fortschrittlichen nicht-nuklearen Energiequellen an und erprobten nukleare Messverfahren für die Erschließung mariner Ressourcen (z. B. Manganknollen und Erzschlämme). Das von GKSS entwickelte Förderstromanalyse-system bewährte sich 1978, als die Gesellschaft am groß angelegten und international zusammengesetzten Pilot-Mining-Test (PMT) im Zentralpazifik teilnahm. Dabei wurden zum ersten Mal Manganknollen vom Meeresboden gefördert – mehrere 100 Tonnen aus 5000 m Tiefe. Und auch ein Jahr später überzeugten die Entwicklungen der GKSS bei einem Versuchsprogramm der Preussag AG zur Förderung von Erzschlämmen vom 2000 m tiefen Grund des Roten Meeres.

Das erste konkrete Forschungsprogramm zur Meerestechnik entstand 1976 und beruhte auf der Einschätzung, dass in Zukunft die Schwerpunkte der meerestechnischen Entwicklung bei der Förderung von fossilen Brennstoffen durch Offshore-Plattformen und mit zunehmender Erschließungstiefe durch oberflächenunabhängige Unterwasserproduktionsanlagen liegen werden. Da Investitionen in diesem kostenintensiven Bereich für die Industrie nur rentabel sind, sofern ein reibungsloser Betrieb eine lange Lebensdauer gewährleistet, begann GKSS Schlüsseltechnologien für die Inspektion, Wartung und Reparatur unter Wasser zu erarbeiten. Zahlreiche Fragen waren zu dieser Zeit noch ungeklärt; so wusste beispielsweise niemand, wie Taucher jenseits der bis dahin erreichten Tauchtiefe von 50 m arbeiten sollten oder wie unter Wasser an tragenden Strukturen mit hoher Qualität zu schweißen wäre.

Bereits 1973 hatte GKSS das Unterwasserlabor (UWL) HELGOLAND von der Biologischen Anstalt Helgoland übernommen und erste Erfahrungen in Unterwassertechniken gesammelt. Das Unterwasserlabor ermöglichte einerseits den Einsatz eigener Taucher und wurde andererseits für die Nutzung ingenieurwissenschaftlicher Forschungsarbeiten weiterentwickelt. Gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) wurden Entwicklungen zum Tieftauchen aufgenommen und Druckkammerversuche durchgeführt. Es begannen Forschungen zum Unterwasser-Schweißen, das bis zur Einstellung des Programms im Jahr 1993 einer der Schwerpunkte blieb.

1956

60

70

80

90

00

2006

2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste
2.2 Meeres- und Unterwassertechnik (1970-1993)



Unterwasserschweißen, Nassschweißen mit Stabelektroden.

1973 • Forschungen zum Unterwasser-Schweißen.

Maßgeblich für den Erfolg bei der Entwicklung der innovativen Unterwasser-Arbeitstechniken war die Geesthachter Unterwassersimulationsanlage (GUSI), die 1983 mit einem 300 m-Tauchgang in Betrieb genommen wurde. Diese Tiefe entsprach dem damaligen Stand der Tauchtechnik. Durch weitere Entwicklungen wurde die GUSI bis zu ihrer Auslegungstiefe von 600 m für den bemannten Einsatz erweitert. 1986 führte GKSS in einem 600 m-Tauchgang weltweit erstmals vor, dass mit den gemeinsam von GKSS, DLR und der Duke University/Durham (USA) entwickelten Tauchverfahren sowie mit neuen Atemgasgemischen Tauchtiefen bis zu 600 m nicht nur sicher erreicht und wieder verlassen werden konnten, sondern die eingesetzten Taucher bzw. Schweißer auch im Stande waren, qualitativ hochwertige Arbeiten auszuführen.

Während die Forschungs- und Entwicklungsaufgaben in der Unterwassertechnik bis zu diesem Zeitpunkt nur durch unbemannte Experimente oder durch begrenzte Flachwasser-Tauchgänge mit Hilfe des UWL zu bewältigen waren, stand mit der GUSI nunmehr eine Simulationsanlage zur Verfügung, in der experimentelle Entwicklungsarbeiten mit qualifiziertem Personal unter realitätsnahen Bedingungen durchgeführt werden konnten. Damit waren wichtige Grundlagen für erfolgreiche Forschungen und Entwicklungen auf den Gebieten Tauchtechnik und -geräte, Unterwasserschweißen (trocken und nass) sowie Unterwasserprüfmethoden und Trenntechniken (z. B. Hochdruck-Wasserstrahlschneiden) geschaffen worden. Der Forschungsschwerpunkt Meerestechnik wurde nun ganz auf die Unterwassertechnik ausgerichtet.

Hier war es zunächst von Bedeutung, Wege zu finden, um die Taucher bei ihrer schwierigen Arbeit zu unterstützen: Die Arbeitsfähigkeit eines Tauchers erfährt mit zunehmender Arbeitstiefe sowohl physiologische als auch neurologische Einschränkungen. So bedingt etwa die zunehmende Atemgasdichte einen hohen Atemwiderstand, der die Leistungsfähigkeit signifikant reduziert. Mit der Tiefe steigt auch der Zeitaufwand für die anschließende Dekompression der Taucher und führt zu nicht unerheblichen Kosten, die in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit des Tauchereinsatzes negativ zu Buche schlagen.



Bau der Geesthachter Unterwasser-Simulationsanlage (GUSI) im Winter 1982/83.

1956

60

70

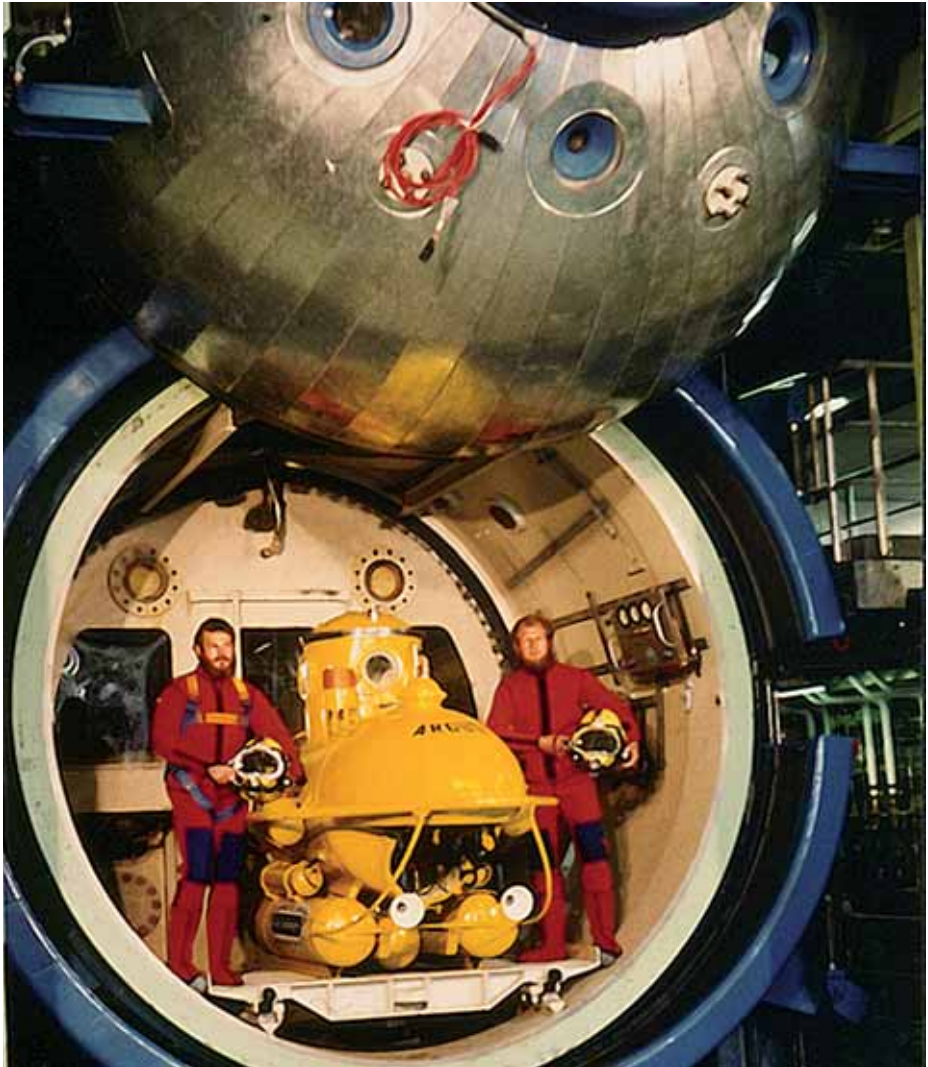
80

90

00

2006

2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste
2.2 Meeres- und Unterwassertechnik (1970-1993)



GUSI: Taucher und Tauchboot in der Hauptversuchskammer.

1983 • Geesthachter Unterwasser-Simulationsanlage wird in Betrieb genommen.



Seit Anfang der 1980er Jahre wurde daher die Verfahrens- und Geräteentwicklung für Unterwasser-Arbeitstechniken auf ihre Mechanisierung und Automatisierung ausgedehnt, womit auch Roboter zum Einsatz kamen. Sie sollten langfristig als rechnergestützte Unterwasserhandhabungs-Systeme Arbeiten in großen Tauchtiefen ausführen. Diese Möglichkeit war etwa bei der Wartung von Anlagen vor der brasilianischen Küste notwendig, wo Ölfelder in 1200 m Tiefe erschlossen worden waren.

Mit dem Wissen und den Erfahrungen, die GKSS in der Sicherheitstechnik für die Kerntechnik gewonnen hatte, wurden gemeinsam mit der Klassifikationsinstanz Germanischer Lloyd wichtige Impulse und Entwicklungen für die Sicherheit von Gerät und Arbeitsverfahren in der noch jungen risikobehafteten Branche der Tieftauch- und Offshoretechnik eingebracht.

Besatzung der GUSI, Innenansicht der Rettungskammer.

1956

60

70

80

90

00

2006

2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste

2.2 Meeres- und Unterwassertechnik (1970-1993)

Aufgrund des Abbaus von Öl- und Gasvorkommen in immer größeren Meerestiefen und in immer weiterem Abstand von der Küste zeigte sich ab Ende der 1980er Jahre die Notwendigkeit zur Entwicklung von Unterwasseranlagen, in denen das Fördergut nicht mehr vor Ort in seine einzelnen Bestandteile (Öl, Gas, Wasser und Feststoffe) getrennt, sondern als Mehrphasen- respektive Mehrstoffgemisch direkt an Aufbereitungsstationen an der Küste gefördert wird. Für die Entwicklung dieser Mehrphasen-Transport-Technik (MTT) konnte GKSS ihre Erfahrungen mit der GUSI und dem Mehrphasen-Pumpenversuchsstand, der noch aus dem Entwicklungsprogramm zur Reaktorsicherheit zur Verfügung stand, einbringen. Der einschlägigen Industrie wurden damit Möglichkeiten geboten, durch gemeinsame Entwicklungen und Erprobungen von Anlagen und Komponenten oder auch durch Demonstrationsversuche ihre Marktstellung zu verbessern.

Mit ihrem Forschungs- und Entwicklungsprogramm Meeres- und Unterwassertechnik hat GKSS Bemerkenswertes geleistet. Zu internationalen Spitzenergebnissen führten vor allem die Erprobung neuer Tauchverfahren sowie die Entwicklung von Unterwasserschweißverfahren und -geräten in hyperbarer trockener und nasser Umgebung. Da sich angesichts der hohen Marktrisiken im Offshore-Bereich und der relativ kurzen Entwicklungszeit von weniger als zehn Jahren die Zielerwartung des Zuwendungsgebers dennoch nicht realisieren ließen, wurde der Forschungsschwerpunkt Meeres- und Unterwassertechnik 1993 abgeschlossen.



Unterwasserschweißkammer.

1974 • Zunehmendes Umweltbewusstsein führt zu intensiver Forschung im Lebensraum Küste.

2.3 Umweltforschung (seit 1974)

Zu Beginn der 1970er Jahre erkannte GKSS, dass sich mit dem Umweltschutz für die in Geesthacht entwickelten Grundkompetenzen und analytischen Fähigkeiten ein viel versprechendes Forschungsgebiet eröffnete. Nach dem Abschluss der Entwicklungsarbeiten am Kernenergieschiff NS OTTO HAHN fand eine Reihe der dort beschäftigten Mitarbeiter in diesem neuen Bereich ein anspruchsvolles Betätigungsfeld.

In dieser Zeit war das Bewusstsein für die Problematik ungeklärter Einleitungen von umweltgefährdenden Abwässern oder von schädlicher Abluft in den Stoffkreislauf erst relativ schwach ausgeprägt. Wenngleich Verklappungen auf See, die Einleitung von Kühlwasser aus Kraftwerken oder Fabrikabwässer ebenso wie der massenhafte Einsatz von Düngemitteln in der



Die Bohrplattform EKOFISK-2 in der stürmischen Nordsee.

1956

60

70

80

90

00

2006

2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste

2.3 Umweltforschung (seit 1974)



DAS FLACHWASSER-FORSCHUNGSSCHIFF LUDWIG PRANDTL

Als mobiles Labor ließ die GKSS 1983 im Rahmen des neuen Forschungsschwerpunktes Umweltforschung das Flachwasserforschungsschiff LUDWIG PRANDTL bauen. Das nach dem deutschen Strömungsmechaniker Ludwig Prandtl (1875-1953) benannte Schiff ist mit seiner guten Manövrierfähigkeit und seinem geringen Tiefgang von lediglich 1,70 Meter hervorragend für das Befahren von flachen oder tidebeeinflussten Küstengewässern und Flüssen geeignet und bietet mit seinen immerhin 31 m Länge genug Raum für eine umfangreiche wissenschaftliche Ausrüstung. Das Forschungsschiff wurde zwischen 2001 und 2003 umfangreich modernisiert. Das Ausrüstungsangebot und die Einsatzfähigkeit wurden dadurch erheblich verbessert. Das Schiff kann nun beispielsweise mit auswechselbaren Labor-Containern flexibel für unterschiedliche Forschungsvorhaben umgerüstet werden.

Die LUDWIG PRANDTL befährt die Nord- und Ostseeküste – dabei besteht auch eine enge Vernetzung mit dem Forschungs- und Technologiezentrum (FTZ) in Büsum und der Christian-Albrecht-Universität Kiel sowie dem Alfred Wegener Institut für Polar und Meeresforschung in Bremerhaven mit seinen Außenstellen auf Helgoland und Sylt. Im Vordergrund der Messeinsätze stehen die Erprobung von neuen Messsystemen für das Monitoring von Küstengewässern, die Wasser- und Sedimentprobennahme und die Erfassung von morphodynamischen Veränderungen an der Nordseeküste.



Das Flachwasser-Forschungsschiff LUDWIG PRANDTL.

1974 • Umweltforschung in den Flussmündungen der Elbe und der Weser.

Landwirtschaft oder der ungefilterte Ausstoß von Abgasen die Natur massiv schädigten, bildete sich ein nachhaltiges Umweltbewusstsein erst, als die Auswirkungen der Verschmutzung auch für die Menschen unmittelbar erkennbar wurden (z. B. durch die Quecksilberkatastrophe in der Minimata-Bucht) und durch Umweltgifte ausgelöste Krankheiten häufiger auftraten.

Der Bereich Umweltforschung wurde 1974 eingerichtet. GKSS setzte einen regionalen Schwerpunkt, indem sie sich auf Ästuar – von Ebbe und Flut geprägte Flussmündungen wie die der Elbe und der Weser – konzentrierte und methodisch auf die Analyse- und Messtechnik sowie auf die Strahlenchemie und die Wasseraufbereitung mit Membranverfahren. In diesen Gebieten konnte GKSS auf bisherigen Forschungsarbeiten aufbauen und deren Erkenntnisse in die Umwelttechnik einfließen lassen. Drei Bereiche rückten in den Mittelpunkt: spurenanalytische Untersuchungen mit Hilfe der Instrumentellen Neutronenaktivierungs-Analyse (INAA), Totalreflexions-Röntgenfluoreszenzanalyse (TRFA) und Atomabsorptionsspektroskopie (AAS), die Entwicklung von laseroptischen Verfahren der Spurenanalyse im Rahmen einer Luftüberwachung sowie die Erstellung von Rechenprogrammen und theoretischen Modellen zu Ausbreitungs- und Transportvorgängen in strömenden Medien.

In den folgenden 25 Jahren gelang es GKSS, auf diesen Feldern sowohl Forschung zu betreiben als auch anwendungsorientierte Entwicklungen praxisnah umzusetzen. Zu einem der erfolgreichsten Projekte gehörten die von 1982 bis 1993 durchgeführten Bilanzierungsexperimente (BILEX) in verschiedenen Abschnitten der Unterelbe, bei denen grundlegende Daten zu Schwermetallbelastungen, Strömungsvorgängen und Stofftransportmechanismen gewonnen wurden.

Seit 1983 verfügt GKSS mit der flachwassergängigen LUDWIG PRANDTL über ein eigenes Forschungsschiff, das – speziell für die Ästuarforschung konzipiert – in den folgenden Jahren bei zahlreichen Untersuchungen zum Einsatz kam. Ferner verwendete GKSS die stationäre Diskusboje META I im Rahmen des EUROMAR-MERMAID-Projekts (1990-1998), in dem schließlich ein auto-



Das mobile GKSS-Lidarsystem ATLAS bei der Messung der atmosphärischen Feuchte im Rahmen der Kampagne LITFASS-98 am 18.6.1998 auf dem Gelände des Deutschen Wetterdienstes DWD in Lindenberg bei Berlin.

1956

60

70

80

90

00

2006

2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste

2.3 Umweltforschung (seit 1974)



Die LUDWIG PRANDTL vor Sylt.

1994 • Sonderforschungsbereich Tide-Elbe.

matisches Messsystem für Schadstoffe in Ästuar- und Küstengewässern geschaffen wurde. Der Messponton META II wiederum fand unter anderem innerhalb der mehrjährigen BILEX-Vorhaben Verwendung und fungierte als eine der zentralen Messstationen für die Ermittlung von Langzeittrends und von hydrodynamischen Situationen außerhalb der BILEX-Kampagnen.

Einen weiteren Forschungsschwerpunkt von GKSS bildeten die Messung von atmosphärischen Vorgängen und die Analyse von deren Einflüssen auf das Wetter, wobei Küstenregionen und Meere besondere Berücksichtigung erfuhren. Auf der Basis von Voruntersuchungen wie ROSIS (1993) (Reflective Optics System Imaging Spectrometer) wurde MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) entwickelt, ein hoch empfindliches Spektrometer zur Zustandsanalyse der Ozeane, besonders der Küstengewässer (aber auch von Land und Atmosphäre). 1997 wurde das Spektrometer mit in den Umweltsatelliten ENVISAT eingebaut, den die ESA in die Erdumlaufbahn schickte.

Die bei den erwähnten Bilanzierungsexperimenten und in der Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg beim Sonderforschungsbereich 327 Tide-Elbe gewonnene Expertise führte von 1994 bis 1996 zu einer Beteiligung an der umfangreichen Umweltverträglichkeitsuntersuchung (UVU) für die Fahrrinnenanpassung der Unterelbe (bzw. für deren Erweiterung und Vertiefung). Hier wurden nicht nur relevante historische Fakten zur Dynamik der Brackwasserzone und der damit korrelierten Trübungszone zum Ist-Zustand zusammengetragen, sondern mit einem mathematisch-numerischen Transportmodell die mit dem Ausbau erwarteten Änderungen im Schwebstoffregime und in den Sedimentablagerungen vorhergesagt.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojekts Elbe 2000 führte GKSS ein Teilprojekt zur Erfassung und Beurteilung der Belastung der Elbe mit Schwermetallen und Schwermetallverbindungen



oben: MEDUSA, ein Messinstrument zur Bestimmung von Methan im Meerwasser.
rechts: Messsonde META-1.

1956

60

70

80

90

00

2006

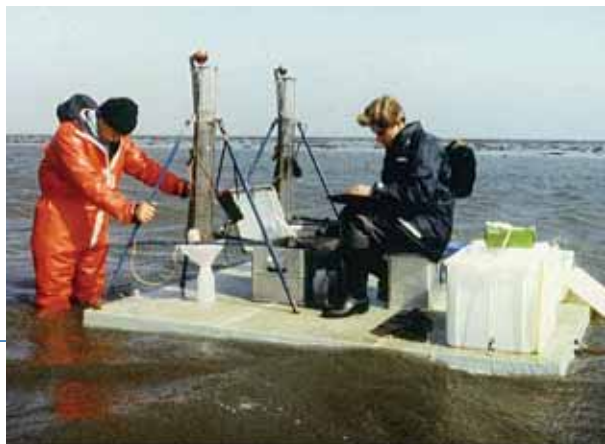
2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste

2.3 Umweltforschung (seit 1974)

durch. Erstmals 1992 wurden entlang des gesamten Flusses etwa 100 Wasserproben und rezente Sedimente entnommen. In regelmäßigen Abständen wurden diese Feldkampagnen bis zum Jahr 2002 wiederholt, wobei auch das extreme Hochwasser im Sommer 2002 im Bereich der Hochwasserwelle erfasst wurde. Von mehr als 50 Elementen wurden jeweils die Konzentrationen in den Sedimenten, Schwebstoffen und in der gelösten Phase bestimmt. Die erzielten Ergebnisse vermittelten einen umfassenden Überblick über den Belastungszustand des Flusses. Darüber hinaus konnten erstmals die für Elbsedimente charakteristischen geogenen Hintergrundwerte ermittelt werden, die auf Grund der regionalen Besonderheiten teilweise stark vom internationalen Tongesteinsstandard abweichen.

Insgesamt ist festzuhalten, dass GKSS mit den im letzten Vierteljahrhundert durchgeführten Forschungsarbeiten und technischen Entwicklungen für die Analyse der Belastung von Gewässern sowie für den Zusammenhang der unterschiedlichen Komponenten auf den Zustand und die Veränderungen von Ökosystemen maßgebliche Erkenntnisse beigetragen hat. Dadurch wurde insbesondere das Verständnis für die Komplexität dieser Systeme vertieft und die auf Prognosen beruhenden Schutzmaßnahmen überhaupt erst ermöglicht. Dank der neuen Erkenntnisse ließen sich sowohl die Wasserqualität von Elbe und Nordsee verbessern als auch Vorhersagen des Wettergeschehens (SCARAB: Scanner for Radiation Budget) und Frühwarnsysteme bei Hochwassergefahren optimieren; und auch auf klimatische Veränderungen konnte vorausschauender reagiert werden. Messungen von Schadstoffimmissionen und -emissionen wurden vereinfacht und detaillierter dargestellt.

Mit dem Informationssystem WATIS wurde bei GKSS ein System geschaffen, das die Kenntnisse über die komplexen Zusammenhänge erhöhte, und eine wertvolle Basis für weitere Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet darstellt. Erst dadurch wurde



Messungen im Wattenmeer.

1999 • Umweltforschung neu ausgerichtet.

1956



eine verlässliche Grundlage für adäquate Umweltschutzmaßnahmen geschaffen. Schließlich konnten mit den Methananalyseverfahren von GKSS entscheidende Schritte zur Gefahrenabwehr durch defekte Öl- und Gaspipelines oder auch durch Methanblasen bei der Erdölförderung gegangen werden. Außerdem führte der Einsatz von Membranverfahren dazu, umweltschonend und kostengünstig Giftstoffe aus Wasser und Luft auszusondern.

Gegen Ende der 1990er Jahre wurde die Umweltforschung neu ausgerichtet und auf den Bereich der Küstenforschung fokussiert.

100



2006

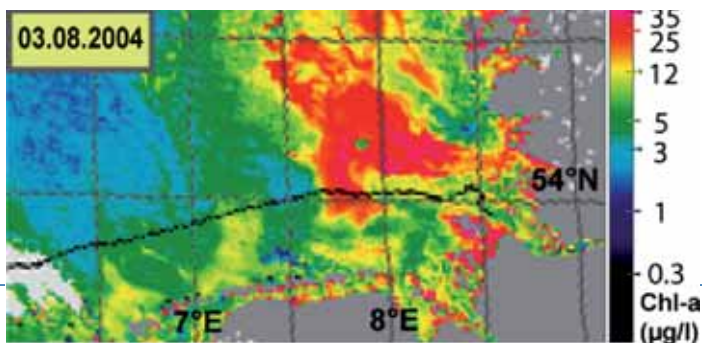
Untersuchung der Belastung der Elbe durch Schwermetalle und organische Schadstoffe: Beprobung mit Hilfe des Hubschraubers.

2.4 Küstenforschung (seit 1999)

Im Jahr 1999 begann eine Fokussierung der GKSS-Umweltforschung auf den Lebensraum Küste, wofür mit der Gründung des Instituts für Küstenforschung (IfK) mit seinen beiden Sektionen 'Entwicklung operationeller Systeme und Systemanalyse' und 'Modellierung' im Jahr 2001 auch der institutionelle Rahmen geschaffen wurde. Das IfK hat heute den Anspruch, seine überwiegend naturwissenschaftlichen Forschungsaktivitäten in einen regionalen Kontext zu stellen und dabei auch gesellschaftliche Aspekte zu berücksichtigen. Ausgehend von einer Analyse des Zustands und der Sensitivitäten des Lebensraums Küste zielen alle Aktivitäten darauf, zu Szenarien für praktische Handlungsoptionen und deren Bewertung zu gelangen.

Die gegenwärtige Forschung zur Entwicklung operationeller Systeme für die fortlaufende und vor allem auch kostengünstige Beobachtung des Umweltzustandes fußt wesentlich auf Kompetenzen, die das Institut in früheren Jahren aufgebaut hat. So wurde die Idee vollautomatischer und kontinuierlicher Messungen auf einer kommerziellen Fähre, die zwischen Cuxhaven und Harwich verkehrt, aus dem Konzept der ferngesteuerten automatischen MERMAID-Boje weiterentwickelt, die von 1990 bis 2000 in der Elbe vor Brunsbüttel lag. Die so genannte Ferry Box wurde im Rahmen eines von GKSS koordinierten EU-Projektes (Beginn 2002) installiert. Die von internationalen Partnern betreuten ähnlichen Geräte auf acht anderen europäischen Fährlinien lieferten weitere Bausteine zur Erstellung eines umfassenderen Bildes der sich entwickelnden räumlichen Verteilung von Salz, Temperatur, Trübung, pH-Wert, Chlorophyll und Nährstoffen.

In situ Messungen wie die der Ferry Box und Fernerkundungsdaten ergänzen sich und kompensieren wechselseitig ihre jeweiligen Schwächen.



Fährroute durch Algenblüte in der Deutschen Bucht, aufgenommen durch MERIS auf dem Umweltsatelliten ENVISAT.

2002 • Messungen im Fährdienst mit der „Ferry Box“.

Besonders seit dem Start des europäischen Satelliten ENVISAT im März 2002 haben sich neue Perspektiven für die Beobachtung von Küstengewässern eröffnet. Das Spektrometer MERIS erlaubt beispielsweise Beobachtungen von Phytoplankton mit hoher räumlicher Auflösung. GKSS entwickelte für die ESA entsprechende Auswertelgorithmen, die auf neuronalen Netzwerken basieren.

Bei GKSS wurde ebenfalls das Verfahren WiSAR entwickelt, das aus Messungen eines durch die Wolkendecke blickenden Radars Windfelder über dem Ozean ableitet. Am Beispiel des Hurrikans Katrina wurde 2005 die Fähigkeit unter Beweis gestellt, auch extreme Stürme flächendeckend zu vermessen. Die Kombination verschiedener Instrumente auf dem Satelliten ENVISAT erzeugt erhebliche Synergieeffekte.

Der Einsatz von Modellen stellt ein weiteres wesentliches Standbein bei der synoptischen Überwachung der Nordsee dar, weil dadurch die Inter- bzw. Extrapolation von Beobachtungen in Raum oder Zeit ermöglicht wird. Verschiedene Modelle unterschiedlicher Komplexität für Atmosphäre oder Schelfmeer werden bei GKSS gepflegt bzw. wurden dort entwickelt. Ein Schwerpunkt erfolgreicher Modellentwicklung mit vielen Anwendungen außerhalb von GKSS stellt beispielsweise die Wellenmodellierung dar. Ein operationelles globales Wellenmodell wird bis heute von GKSS international verteilt und vom deutschen wie von anderen Wetterdiensten zur täglichen Vorhersage des Seeganges für die Schifffahrt angewendet.

In dem von 2001 bis 2003 von der EU geförderten MaxWave-Projekt haben sich GKSS-Wellenforscher gemeinsam mit anderen Forschungszentren eines Phänomens angenommen, das bisher als Seemannsgarn galt: Seeleute berichteten immer wieder von gewaltigen Wellen, die sich während eines Sturms plötzlich auftürmten und Schiffe schwer beschädigten. Im Projekt wurde der gesamte Weltozean mittels Radarsatelliten abgesucht, um außergewöhnlich hohe Wellen zu entdecken und Schiffen eine Karte von Gebieten zur Verfügung zu stellen, in denen diese Wellen möglicherweise auftreten könnten.



Eine „Monsterwelle“ in der Biskaya.

1956

60

70

80

90

00

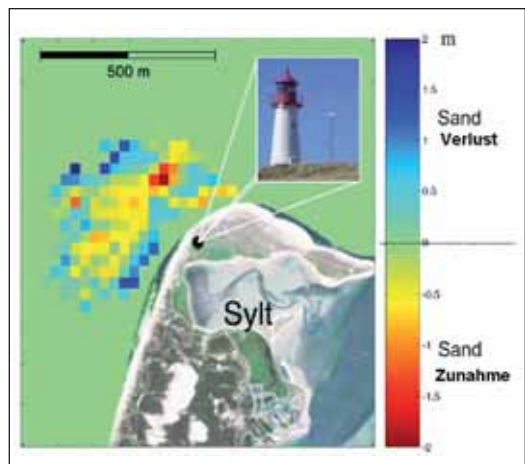
2006

2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste

2.4 Küstenforschung (seit 1999)

Seegang beeinflusst viele Prozesse im Meer, daher ist die Kombination von Seegangsberechnungsverfahren mit anderen Modellen von großer Bedeutung. In den letzten Jahren wurden insbesondere Strömungs- und Wellenmodellierung in einem System zusammengeführt. Erstmals gelang so eine realistische Modellierung der Ausbreitung von Schwebstoff in der Nordsee, was auch einen wesentlichen Schritt hin zu einer erfolgreichen ökologischen Modellierung bedeutet. Das Modell wurde durch die Verknüpfung mit MERIS-Daten verbessert und 2003 an das BSH für einen quasi-operationellen Betrieb übergeben.

Der Betrieb realistischer Strömungs- und Wellenmodelle in küstennahen Regionen bietet die entscheidende Grundlage für weiterführende Fragestellungen, die beispielsweise die Beurteilung der Effektivität von Sandvorspülungen als Maßnahme des Küstenschutzes betreffen. Für derartige Fragestellungen stehen am IfK moderne Messverfahren zur Verfügung, etwa die direkte Vermessung des Meeresbodens mit Fächer-echolot oder eine im Hause entwickelte indirekte Methode zur Analyse des Signals eines landgestützten Radars.



Die in der Sektion Systemanalyse und Modellierung zusammengefassten Arbeiten richten das Augenmerk nicht auf die detaillierte Analyse von Einzelereignissen, sondern auf eine Gesamt-schau der vergangenen und möglichen künftigen Entwicklungen der Küstenregion. Der erste Schritt besteht in einem Blick auf die Vergangenheit. Beobachtete Zeitreihen einzelner Variablen an verschiedenen Orten können grundsätzlich nur lokale, nicht aber flächendeckende Informationen liefern. Hinzu kommt das Problem zu kurzer und evtl. lückenhafter Datenreihen. Der Betrieb von Modellen stellt deswegen den einzigen Weg dar, zu einem umfassenden Bild vergangener Umweltbedingungen zu gelangen.

Veränderung der Bodentopographie vor Sylt 2001-2003, analysiert aus Radarbeobachtungen.

2000 • „Elbe 2000“ Teilprojekt zur Erfassung und Beurteilung der Belastung der Elbe mit Schwermetallen und Schwermetallverbindungen.

Die Idee der modellgestützten Rekonstruktion wurde am IfK um 2000 mit einem Projekt zur Geschichte der Umweltbelastung durch Zusätze von Blei in Benzin prototypisch demonstriert. Dabei wurde aus den geschätzten Bleiemissionen in der Zeit vor Einführung des bleifreien Benzins mit Hilfe eines atmosphärischen Modells auf veränderte atmosphärische Konzentrationen und Depositionen geschlossen. Hieraus konnte wiederum auf wahrscheinliche Bleigehalte im Blut der Bevölkerung rückgeschlossen werden, und zwar auch für Zeiten, aus denen keine medizinischen Untersuchungsergebnisse vorliegen. Im Anschluss an das Bleiprojekt folgten Rekonstruktionen von Seegang, Wasserstand und Strömungen in der Nordsee, die im so genannten HIPOCAS Datensatz von 2004 zusammengefasst sind. Dieser stellt immer noch eine wichtige Grundlage für mehrere aktuelle Arbeiten dar und wird auch außerhalb von GKSS vielfach genutzt, um beispielsweise Fragen des Küstenschutzes oder der Schiffsicherheit zu thematisieren.

Eine wichtige Funktion modellgestützter Rekonstruktionen besteht in der korrekten Repräsentation natürlicher Variabilität. Nur deren Kenntnis verhindert eine Fehlinterpretation aktueller Veränderungen als (möglicherweise menschengemachte) Trends. In einem zweiten Schritt werden Modelle verwendet, um Einflussfaktoren zu gewichten und auf diese Weise natürliche Veränderungen von denjenigen zu unterscheiden, die von Menschen verursacht worden sind. Schließlich erlauben es die Modelle in einem dritten Schritt, plausible Szenarien künftiger Entwicklungen darzustellen.

Seit 2004 sind die Arbeiten des Instituts im MARCOPOLI Programm der HGF eng mit Arbeiten des Alfred Wegener Instituts (AWI) verzahnt. Vor allem in dieser Kooperation werden die geschilderten



Sturmgepeitschte See brandet gegen den Dünenstrand.

1956

60

70

80

90

00

2006

2. Von Wellen, Wasser und dem Lebensraum Küste

2.4 Küstenforschung (seit 1999)

Ideen mit dem Ziel verfolgt, die Rekonstruktionen thematisch auszuweiten. In Erweiterung der Idee des Bleiprojektes wird z. Z. an einer Ausdehnung der Rekonstruktionen gearbeitet, die die Belastung der küstennahen und marinen Umwelt durch langlebige und toxische Spurenstoffe im „chemischen Anthropozän“ darstellen soll. Als solches bezeichnet man die Zeit seit etwa 1950, in der die chemische Belastung mit persistenten Schadstoffen globale Ausmaße angenommen hat. Gemeinsam mit dem AWI konnten Transporte von Quecksilber bis in die Arktis und Antarktis nachgewiesen werden.

Im Zuge der Konzeption von MARCOPOLI erfolgte auch eine Neuorientierung der analytischen Arbeiten im IfK in Richtung einer wirkungsbezogenen chemischen und biologischen Analytik. Durch eine engere Verknüpfung von Fachexpertisen aus Chemie und Biologie, aus Ökologie und Veterinärmedizin werden derzeit nicht mehr nur die Konzentrationen von chemischen Substanzen untersucht, sondern darüber hinaus die ökologischen Funktionen von natürlichen und anthropogen chemischen Substanzen in marinen küstennahen Ökosystemen. Die Forschungen beschäftigen sich zum einen mit marinen Toxinen aus Mikroalgen oder Feuerquallen der Nordsee, zum anderen mit immunmodulatorischen Prozessen bei marinen Säugern wie Seehunden und Schweinswalen, die eine Frühdiagnose zum Gesundheitszustand dieser Tierarten an der Spitze der Nahrungskette erlauben.

Küstenforscher bei GKSS sind bereits vor Jahren auch Kooperationen mit Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaftlern eingegangen, etwa im oben erwähnten Bleiprojekt oder bei der Erstellung einer Prognose der Schadstoffbelastung im Rotterdamer Hafen, für welche die wirtschaftliche Entwicklung im Rhein-Einzugsgebiet eine wesentliche Rolle spielt. In Kooperation mit dem Institut für Medienwissenschaften der Universität Hamburg wurden im Projekt 'Küstenbilder – Bilder der Küste' verschiedene Idealbilder und Vorstellungen von der Küste als Lebensraum aus medienwissenschaftlicher sowie aus sozioökonomischer und soziologischer Perspektive der naturwissenschaftlichen Perspektive gegenübergestellt. Wesentlich gestützt werden diese Bemühungen heute durch eine eigens eingerichtete Planstelle am IfK, die der sozialwissenschaftlichen Modellierung gegenwärtiger und künftiger Entwicklungen im Küstenraum gewidmet ist.

2005 • Projekt: „Küstenbilder – Bilder der Küste“.



1956

60

70

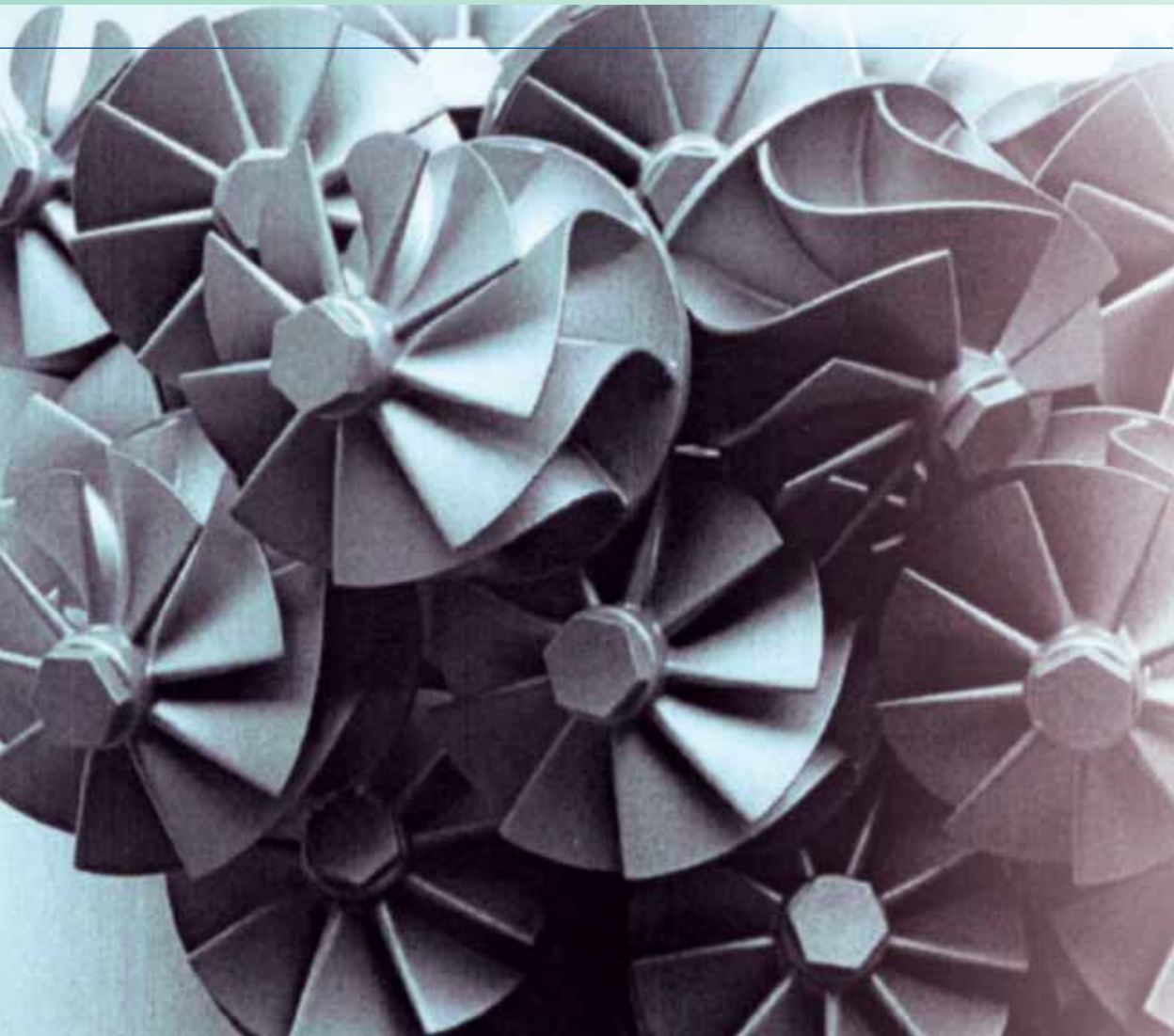
80

90

00

2006

Frühdagnose der Gesundheit von Seehunden als Schlüsselorganismen für den Zustand der Nordsee.



3.

Werkstoff- mechanik und neue Materialien

Durch die Verflechtung von natur- und ingenieurwissenschaftlicher Forschung leistet GKSS einen innovativen Beitrag zur Entwicklung von Werkstoffen und Materialien.

1956

1960

1970

1980

1990

2000

2006

3. Werkstoffmechanik und neue Materialien

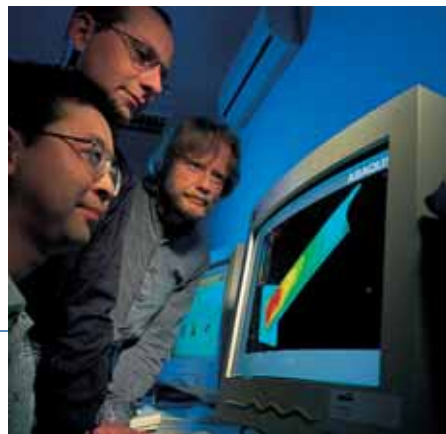
3.1 Werkstoffmechanik (seit 1980)

3.1 Werkstoffmechanik (seit 1980)

Weltweit gilt die Erhöhung der Betriebssicherheit von Materialien und Strukturen als bedeutende Forschungs- und Entwicklungsaufgabe. Zahlreiche Forschungsinstitute und Industriefirmen, Versicherungs- und Überwachungsgesellschaften arbeiten etwa im Fahrzeug- und Flugzeugbau oder bei Chemieanlagen und auf Meeresplattformen an der Entwicklung von Methoden zur Bewertung der Zuverlässigkeit von Bauteilen. Diesem Ziel gelten auch die seit Beginn der 1980er Jahre innerhalb der Komponentensicherheit eingebetteten Forschungen von GKSS auf dem Gebiet der Werkstoffmechanik.

Das Ziel der Werkstoffmechanik bei GKSS besteht generell in der interdisziplinären Zusammenführung experimenteller Methoden, theoretischer Modellbildungen und analytischer wie rechnerischer Verfahren, um Leichtbauwerkstoffe und -strukturen besser charakterisieren und aussagekräftiger bewerten zu können. Hierbei bildet die Bruchmechanik, d. h. die Erforschung des Einflusses von Rissen auf die Tragfähigkeit metallischer Leichtbauwerkstoffe, einen eigenen Schwerpunkt. Innerhalb dieses Bereichs konzentrieren sich die Untersuchungen besonders auf das Festigkeitsverhalten von Werkstoffen, auf das ihrer Schweißverbindungen und ihrer jeweiligen Bauteile. Dabei werden die mechanischen Eigenschaften der einzelnen Werkstoffe analysiert und deren Übertragbarkeit von der Laborprobe auf Bauteile ermittelt. Seit Mitte der 1980er Jahre entwickelt GKSS spezielle Methoden zur Ermittlung des Ausbreitungsverhaltens von Rissen und stellt Regeln für deren Übertragbarkeit auf bestimmte Bauteile auf. Darüber hinaus erarbeitet GKSS analytische Lösungen zur Abschätzung bruchmechanischer Beanspruchung an einzelnen Bauteilen.

Während bruchmechanische Methoden in der Regel auf vereinfachenden Annahmen beruhen, können mit numerischen Simulationsmethoden auf Basis der Schädigungsmechanik realistische Vorhersagen von Verformungs-, Schädigungs-



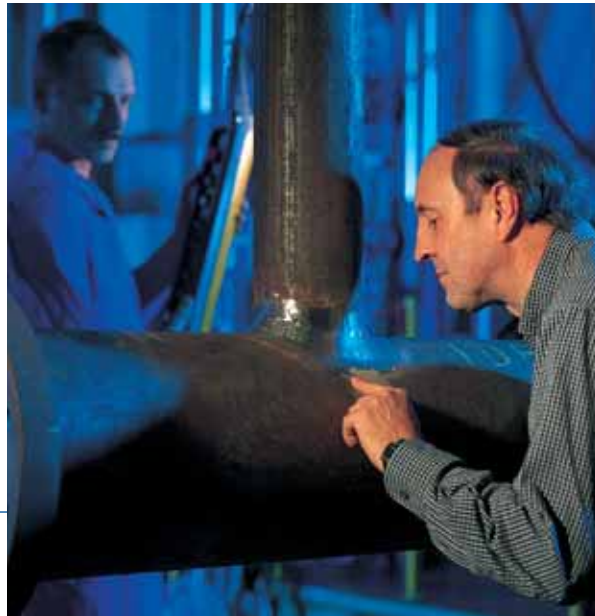
*Das Bauteil im Computer:
Rechnerische Simulation
des Werkstoff- und Bauteilverhaltens
spart Kosten und macht
Konstruktionen sicherer.*

1987 • Legierungsentwicklung und Werkstoffmechanik unter dem Dach der Werkstoffforschung.

und Bruchvorgängen getroffen werden. Solche Vorhersagen gewinnen besonders bei komplizierten Bauteilgeometrien insofern große Bedeutung, als damit die Zusammenhänge zwischen der Mikrostruktur von Werkstoffen und den Verformungs- und Schädigungseigenschaften auf mikrostruktureller Ebene sowie den globalen Festigkeits- und Rissfortschrittseigenschaften erfasst werden können.

Die Entwicklung von intermetallischen Legierungen und die Bewertung von Rissfehlern in Werkstoffen und Bauteilen bildeten daher seit Mitte der 1980er Jahre unter dem gemeinsamen Dach der GKSS-Werkstoffforschung eigene Vorhaben. Etwa an der Jahrtausendwende verlagerten sich die Schwerpunkte des FuE-Programms von GKSS erneut und führten ebenfalls zu einer Neuausrichtung der Werkstoffforschung und damit auch der Werkstoffmechanik: Die gesamte Werkstoffforschung widmet sich dem Leichtbau in der Verkehrs- und Energietechnik, wobei die Werkstoffmechanik ihre Bewertungsmethoden für die im Leichtbau geforderte besonders hohe Ausnutzung von Tragfähigkeit und Lebensdauer der Bauteile weiterentwickelt.

Seit etwa 2005 beschäftigt sich die Werkstoffmechanik bevorzugt mit der Herstellung und Bewertung von Hybridstrukturen; das sind Bauteile, die aus unterschiedlichen Werkstoffen (z.B. Aluminium u. Magnesium) hergestellt werden und besonders für den Leichtbau von Interesse sind. GKSS will hierbei sowohl die Entwicklung von Fügeverfahren als auch die eines Bewertungssystems für solche Werkstoffverbunde vorantreiben, die durch ihre Heterogenität eine besondere Herausforderung darstellen.



Das Bauteil in der Realität: Versuche an realen Bauteilen oder bauteilähnlichen Strukturen dienen der Verifikation der entwickelten Modelle.

1956

60

70

80

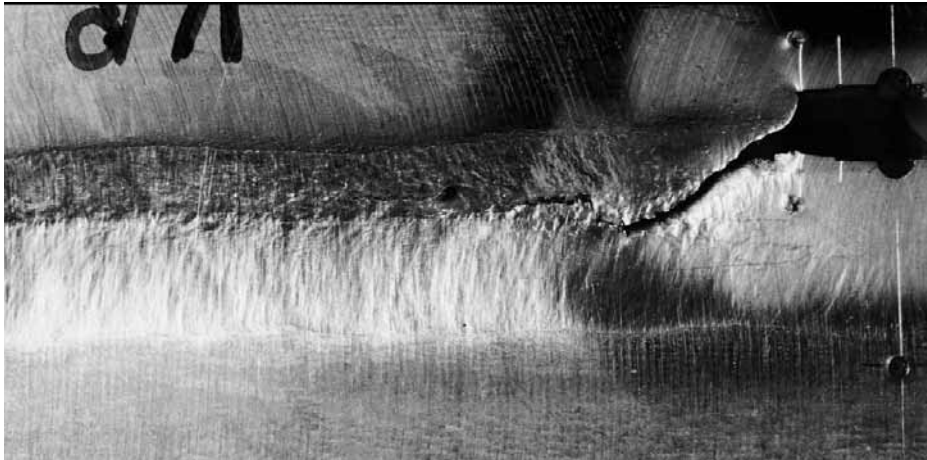
90

00

2006

3. Werkstoffmechanik und neue Materialien

3.1 Werkstoffmechanik (seit 1980)



In den zurückliegenden Jahren konnte die Forschung im Bereich Werkstoffmechanik bereits vielfältige Erfolge aufweisen: Auf dem Gebiet der Bruchmechanik entwickelte GKSS verschiedene neue Testmethoden zur Ermittlung des Risswachstums in metallischen Werkstoffen. Deren Ergebnisse sind ebenso in internationale Normen und Vorschriften eingeflossen wie solche, die sich bei Verfahren zur Bewertung von Bauteilen ergeben haben. In der numerischen Materialmodellierung gelang es, Modelle zur Beschreibung von Verformung und Bruch vor allem hinsichtlich ihrer Anwendung auf dünnwandige Leichtbaustrukturen weiterzuentwickeln. Zu nennen ist in diesem Zusammenhang unter anderem die Identifizierung der Modellparameter durch die Kombination von Experimenten und numerischen Simulationen.

Um die bisherige Erfolgsgeschichte fortzuschreiben, wird in den nächsten Jahren die gesamte Forschungskette vom atomaren Aufbau bis zum Bauteilverhalten zu untersuchen sowie ein umfassendes Expertensystem zur Bewertung von Leichtbaustrukturen zu bilden sein. Die einzelnen GKSS-Einrichtungen wollen zu diesem Zweck verstärkt mit anderen Forschungszentren, vor allem denen der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, kooperieren.

*Kleine Risse mit großer Bedeutung - Festigkeitsverhalten von Schweißverbindungen:
Ein Riss in der Grenzfläche zwischen Grundwerkstoff und weicherem Schweißgut wird in den weicheren Bereich abgelenkt.*

3.2 Metallische Leichtbau- und Funktionswerkstoffe (seit 1986)

Spätestens seit der Ölkrise in den 1970er Jahren wurde in den Industrieländern immer intensiver danach gefragt, wie der Energieverbrauch zu senken, die Lebensqualität und Mobilität aber zu erhalten oder sogar zu erhöhen sei. Vor dem Hintergrund dieser Fragestellungen beschäftigte sich die GKSS-Werkstoffforschung seit Mitte der 1980er Jahre mit neuartigen metallischen Leichtbauwerkstoffen. Diese können in besonderer Weise zur Ressourcenschonung beitragen und beispielsweise im Karosserie-, Motoren- und Turbinenbau eingesetzt werden. Die ab 1986 betriebene Forschung rückte zunächst den grundlegenden Zusammenhang von mikroskopischen Strukturen und mechanischen Eigenschaften intermetallischer Werkstoffe auf der Basis von Titanaluminiden (TiAl) ins Zentrum ihrer Arbeiten. In der folgenden Dekade verlagerte sich der Fokus mehr auf die Anwendung der erzielten Ergebnisse. Dementsprechend wurden bei GKSS werkstoffbezogene Fertigungs- und Verarbeitungstechnologien aufgebaut und Kooperationen mit der Industrie intensiviert.



Kompressor-Laufschaufeln für ein Flugtriebwerk aus einer von GKSS patentierten TiAl-Legierung, die in einem gemeinsamen Forschungsvorhaben durch Strangpressen, Schmieden und elektrochemisches Senken hergestellt wurde.

1956

60

70

80

90

00

2006

3. Werkstoffmechanik und neue Materialien

3.2 Metallische Leichtbau- und Funktionswerkstoffe (seit 1986)

Schon früh standen dabei die besonderen mechanischen und funktionalen Eigenschaften von nanostrukturierten Werkstoffen im Vordergrund, zuerst bei TiAl-, dann bei Metall-Keramik-Verbundwerkstoffen. Deren Herstellung erfolgte sowohl pulvermetallurgisch als auch durch neuartige Dünnschichttechniken. Im Jahre 1999 wurde dann mit der Entwicklung von Magnesiumlegierungen für Ultraleichtbau-Anwendungen begonnen, um im Bereich der Strukturwerkstoffe eine zweite innovative Legierungsklasse zu etablieren. Die bei GKSS in einzigartiger Weise verfügbaren und auf ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen ausgerichteten Neutronenstreuexperimente am GKSS-Forschungsreaktor FRG-1 unterstützten dabei sowohl die Grundlagenforschung als auch die technologisch orientierten Arbeiten. Seit Ende 2005 erweitert die Inbetriebnahme eines ersten eigenen Experiments für die Materialforschung mit Synchrotronstrahlung am nahe gelegenen Helmholtz-Zentrum DESY diese Möglichkeiten wesentlich. Damit können bestimmte Untersuchungen bedeutend schneller durchgeführt werden, sodass es nun möglich wird, Prozesse als Funktion der Zeit mit atomarer Auflösung zu verfolgen.

Langfristiges Ziel ist es, Leichtbauwerkstoffe für spezifische Anwendungen zu funktionalisieren bzw. multifunktionale Werkstoffe zu entwickeln, die eine völlig neue Kombination von Eigenschaften aufweisen.

Titanaluminide für Hochtemperatur-Anwendungen (seit 1986)

Ressourcenschonung kann besonders durch Innovationen in Hochtemperatur-Technologien erreicht werden, mit denen die Prozesstemperatur erhöht, Trägheitskräfte reduziert und so die Effizienz von Energiewandlungsanlagen insgesamt gesteigert werden. Das lässt sich allerdings nur realisieren, wenn leichte, korrosionsbeständige und zugleich extrem feste Werkstoffe zur Verfügung stehen, die auch bei hohen Temperaturen zum Einsatz kommen können. Für derartige Verwendungsmöglichkeiten bieten intermetallische Titanaluminid-Legierungen auf Grund ihrer außergewöhnlichen thermo-physikalischen Eigenschaften besonders gute Voraussetzungen.

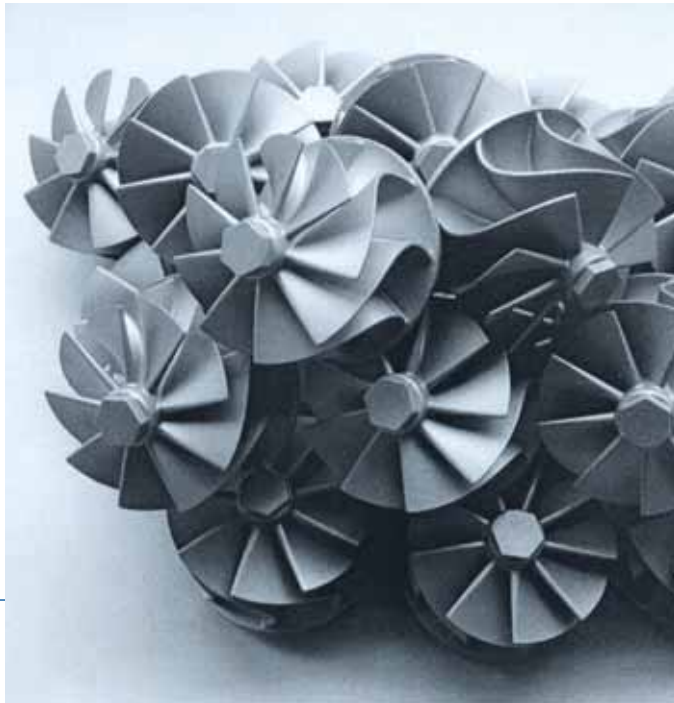
Um die zu erwartenden Verbesserungen und Innovationen zu realisieren, ist – außer der grundlegenden Erforschung der Zusammensetzung und der Gefüge dieser neuen Werkstoffe – auch die Entwicklung von zuverlässigen und kostengünstigen Herstellungstechnologien notwendig. 1994 wurde deshalb in enger Kooperation mit einem Anlagenhersteller eine Pilot-

1986 • Titanaluminide für Hochtemperatur-Anwendungen.

Pulververdüngsanlage für die Entwicklung von pulvermetallurgischen Herstellungsrouten in Betrieb genommen und für die Produktion von TiAl-Pulvern und Halbzeugen erfolgreich eingesetzt.

Zudem bearbeitete GKSS seit 1995 auch alternative schmelzmetallurgische Prozesstechnologien sowie in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie die zugehörigen Umformtechnologien zur Herstellung von TiAl-Halbzeugen und Bauteilen. Sowohl die speziellen TiAl-Legierungen als auch die Prozesstechnologien werden auf metallphysikalischer Basis entwickelt. Dabei erlauben besonders elektronenmikroskopische Untersuchungsmethoden, aber auch Neutronenstreuexperimente eine Charakterisierung der Werkstoffe bis zu atomaren Dimensionen.

Von 1998 bis 2002 wurde bei GKSS eine neue Generation von TiAl-Legierungen (TNB) entwickelt, die wegen ihrer außergewöhnlichen Festigkeit und Oxidationsbeständigkeit eine Ausnahmestellung im Bereich der Hochtemperatur-Werkstoffe einnehmen. Die bisherigen Ergebnisse versprechen eine erfolgreiche Zukunft dieser Legierungen, wie der zurzeit bei Rolls-Royce vorbereitete Einsatz von Turbinenschaufeln, die aus einer GKSS-Legierung bestehen und für Flugtriebwerke vorgesehen sind, erkennen lässt. Im Bereich der Automobilindustrie kommen ebenfalls TiAl-Legierungen zur Anwendung, etwa bei Laufrädern für Abgas-Turbolader.



Laufräder für Abgas-Turbolader aus Titan-Aluminiden sind zugleich extrem leicht, korrosionsbeständig und hochfest.

1956

60

70

80

90

00

2006

3. Werkstoffmechanik und neue Materialien

3.2 Metallische Leichtbau- und Funktionswerkstoffe (seit 1986)

Magnesium-basierte Legierungen (seit 1999)

Magnesium-Werkstoffe zeichnen sich auf Grund der geringsten Dichte aller metallischen Strukturwerkstoffe durch ein hohes Leichtbaupotenzial aus und sind daher besonders für einen Einsatz in denjenigen Bereichen geeignet, in denen Masse bewegt wird. Bei vergleichbaren mechanischen Eigenschaften gegenüber anderen Materialien kann man bei den aus Magnesium-Werkstoffen hergestellten Bauteilen von einem deutlich geringeren Gewicht ausgehen. Deshalb finden sich Magnesium-basierte Legierungen hauptsächlich bei verschiedenen Komponenten im Automobilbau oder als Gehäusebauteile von Handys, Notebooks und fototechnischen Produkten. Insbesondere im Fahrzeugbau werden erhebliche Anstrengungen in der Legierungs- und Prozessentwicklung unternommen, um den Anwendungsbereich für Magnesium-Werkstoffe zu erweitern und, neben dem Antriebsstrang, weitere Teile der Karosserie und des Innenraumes für diesen Leichtbauwerkstoff zu erschließen.

1999 erweiterte GKSS ihre bis dahin auf intermetallische TiAl-Werkstoffe ausgerichtete Legierungsentwicklung auf Magnesium-Legierungen. Zunächst lag der Forschungsschwerpunkt auf monolithischen und kurzfaserverstärkten Magnesium-Guss-Legierungen, die als temperaturbeständige Werkstoffe für Getriebegehäuse ebenso geeignet sind wie für den Motorenbereich. Zur Entwicklung einer geeigneten Herstellungstechnik (Druckguss, Squeeze-Casting, Thixo-Casting, Kokillenguss) baute GKSS kommerziell verfügbare Gussapparaturen in einer eigenen Versuchshalle auf. Die bisher genannten Forschungsschwerpunkte wurden in den folgenden Jahren durch die Entwicklung von Magnesium-Knetlegierungen für Strangpressprofile, Bleche und Schmiedebauteile ergänzt. Bei der Entwicklung dieser Legierungen spielt die Prozesstechnik selbst eine große Rolle.

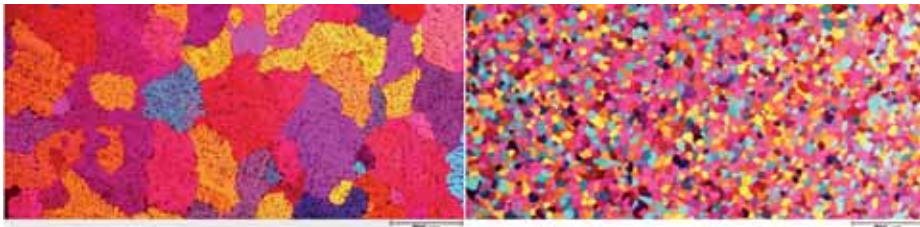
Die Ziele in der Halbzeugentwicklung bestehen darin, gleichzeitig hohe Festigkeit und gute Umformbarkeit mit einer isotropen Umformcharakteristik bei moderaten Temperaturen zu erreichen. Modellentwicklungen und Simulationsrechnungen begleiten dieses Unterfangen, indem sie die mechanischen Eigenschaften unter Berücksichtigung der Prozesstechnik vorausberechnen. Da bei vielen Anwendungen die hohe Korrosionsempfindlichkeit von Mg-Legierungen und teilweise auch die geringe Verschleißbeständigkeit von Mg-Bauteilen Probleme darstellen, entwickelt GKSS für solche Komponenten geeignete Beschichtungen, die nach Möglichkeit selbstheilend sein sollten (d. h. ihre Schutzwirkung auch nach einer mechanischen Beschädigung

1999 • Magnesiumbasierte Legierungen.

gewährleisten). Die Erforschung und Entwicklung von Mg-Legierungen konnte hierbei auch davon profitieren, dass ein Helmholtz-Zentrum wie GKSS den nicht zu unterschätzenden Vorteil des vergleichsweise einfachen, hausinternen Zugangs zu modernen Großgeräten bietet. So konnten etwa Dank der Forschungsmöglichkeiten mit Neutronen am GKSS-Forschungsreaktor FRG-1 wichtige Erkenntnisse über kristalline Vorzugsorientierungen (Texturen) an Mg-Legierungen – wie im übrigen auch an TiAl-Legierungen – und den damit verbundenen Verarbeitungsprozessen gewonnen werden: Diese sind für die gezielte Einstellung der makroskopischen mechanischen Eigenschaften in einem Endprodukt von eminenter Bedeutung.

Da für den wirtschaftlichen Einsatz von Magnesiumwerkstoffen auch deren Recycling von Bedeutung ist, arbeitet GKSS ebenfalls an der Entwicklung von Recyclinglegierungen. Sie müssen die nötigen Festigkeitseigenschaften besitzen und zugleich hinreichend korrosionsbeständig sein. Demgegenüber eignet sich Magnesium wegen der ausgeprägten Korrosion hervorragend als biokompatibler und bioabbaubarer Werkstoff für Implantate (wie Stents, Schrauben, Nägel und Clips). In diesen Fällen ist neben einer ausreichenden Festigkeit und Steifigkeit des verwendeten Materials ein kontrolliertes Korrosionsverhalten notwendig, bei dem sich das Implantat innerhalb eines vorausberechneten Zeitraumes im Körper auflösen soll. Zu diesem Zweck müssen Legierungen entwickelt werden, deren Abbauprodukte im Körper absolut verträglich sind und die nach Möglichkeit zugleich die Regeneration des körpereigenen Materials unterstützen.

Seit 2005 baut GKSS das Magnesium Innovation Center (MagIC) auf, das seine Arbeit Anfang 2007 aufnehmen wird. Es wird deutschland- oder gar weltweit einzigartige Möglichkeiten zur Entwicklung der Magnesiumtechnologie von der Grundlagenforschung bis hin zur anwendungsnahen Prototypenentwicklung bieten.



links: kommerzielle Mg-Legierung Korngröße 400 µm.
rechts: korngefeinte Legierung Korngröße 60 µm.

1956

60

70

80

90

00

2006

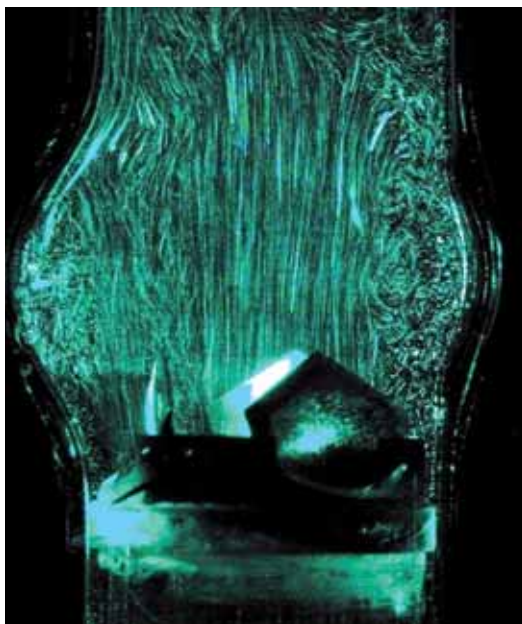
3. Werkstoffmechanik und neue Materialien

3.2 Metallische Leichtbau- und Funktionswerkstoffe (seit 1986)

Metallpulverspritzguss für Hochleistungsbauteile und biokompatible Werkstoffe (seit 1997)

Das Metallpulverspritzgießen (Metal Injection Moulding, MIM) ist eine relativ junge Urformtechnologie, die sich hervorragend für die Herstellung von komplexen Bauteilen aus Metallpulver eignet. Die Erschließung der innovativen MIM-Technologie bei GKSS zielt auf die Verarbeitung von Ti- und Mg-Basiswerkstoffen. 1997 gelang es im Rahmen eines GKSS-Kooperationsprojektes erstmals, Titanlegierungen über die Prozessroute des Metallpulverspritzgießens zu endformnahen Probekörpern mit äußerst guten mechanischen Eigenschaften zu verarbeiten. Dieser Erfolg führte zur Entscheidung, das Metallpulverspritzgießen in Kombination mit der bei GKSS entwickelten Pulvertechnologie für Titan-Werkstoffe zu etablieren und medizin- und verkehrstechnische Bauteile mit Hilfe der MIM-Technologie im Labormaßstab zu produzieren.

Der Schwerpunkt der Produktentwicklung lag auf der Herstellung von medizinischen Implantaten (von z. B. neuartigen Herzklappenprothesen und komplexen Wirbelschrauben). Die erfolgreichen Entwicklungen führten 2004 zur Gründung der Firma TiJet, die seitdem die kommerzielle Produktion komplexer Titan-Implantate mit der bei GKSS entwickelten MIM-Technologie übernommen hat. Einen weiteren Forschungsschwerpunkt bildete die Herstellung von MIM-gefertigten Ti- und TiAl-Leichtbaukomponenten für die Verkehrstechnik. Besonders die Beherrschung einer kostengünstigen Herstellungstechnologie für komplexe TiAl-Hochleistungsbauteile würde den künftigen Einsatz dieser Werkstoffe wesentlich erweitern.



*Mit dem MIM-Verfahren hergestellte Herzklappenprothese im Strömungstest
Herzklappen-Design: Tricomed Medizintechnik GmbH, Kiel,
Strömungsversuchsstand: Institut für Angewandte Physik, Universität Kiel.*

Fügetechnologie zur Herstellung von Hybridbauteilen (seit 1995)

Die derzeitigen Fügeaktivitäten bei GKSS gingen Mitte der 1990er Jahre aus dem ehemaligen Forschungsschwerpunkt Unterwassertechnik hervor, bei dem das Schweißen unter Wasser von besonderer Bedeutung war. Im Rahmen der GKSS-Werkstoffforschung werden zurzeit drei fortschrittliche Fügeverfahren verwendet und für die Herstellung von Leichtbaustrukturen genutzt. Das seit Ende der 1990er Jahre praktizierte Diffusionsschweißen wird bei GKSS im Wesentlichen zur Fügung von Titanaluminiden eingesetzt. So kann ein geschmiedetes Titanaluminid-Bauteil auf einem Schaft oder einer Halterung befestigt werden, die aus einem anderen Werkstoff bestehen. Das Laserstrahlschweißen, das bei GKSS seit 2001 zum Einsatz kommt, hat das Fügen insbesondere von Aluminium- und Magnesium-Legierungen zum Schwerpunkt. Primäre Anwendungen sind besonders Aluminium-Leichtbaustrukturen für den Flugzeugumpf, um damit Gewichtseinsparungen von 15% und sogar darüber hinaus zu realisieren.

Das Reibrührschweißen ist ein neuartiges Fügeverfahren, das 1991 vom englischen The Welding Institute patentiert wurde und seit Mitte der 1990er Jahre bei GKSS weiterentwickelt wird. Dieses Verfahren bietet den Vorteil des Schweißens unterhalb des Schmelzpunktes der Fügepartner und ist dazu geeignet, Stumpf- und Überlappverbindungen herzustellen. Dadurch können Werkstoffe miteinander verbunden werden, die mittels Schmelzschweißverfahren nicht gefügt werden können. Während das Reibrührschweißen üblicherweise zur Herstellung gerader Nähte an ebenen Strukturen eingesetzt wird, konnten bei GKSS durch die Verbindung des Schweißkopfes mit Robotern die ersten räumlich gekrümmten Nähte realisiert und das zugehörige Verfahren 1999 patentiert werden.

Dank der Möglichkeiten zur Neutronenforschung am GKSS-Forschungsreaktor FRG-1 wurden zerstörungsfreie Messverfahren entwickelt, bei denen die Fähigkeit der Neutronen genutzt wird, tief in das Innere von Proben und Bauteilen einzudringen und



Kraftgesteuertes Reibrührschweißen einer gekrümmten Flugzeugschale mit einem Tricept TR805 Roboter.

3. Werkstoffmechanik und neue Materialien

3.2 Metallische Leichtbau- und Funktionswerkstoffe (seit 1986)

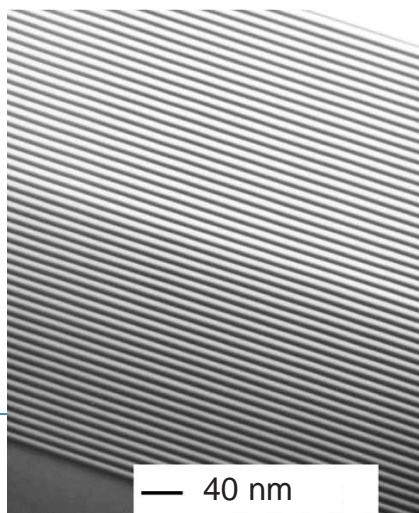
dadurch Aussagen über deren atomare Struktur zu liefern: Anhand der Veränderungen der Atomabstände in Schweißnähten konnten die inneren Spannungen gemessen und die Prozessparameter so eingestellt oder optimiert werden, dass ein Versagen der Naht weniger wahrscheinlich wird. Dadurch konnte die Qualität der Fügung wesentlich verbessert und Aussagen über die Belastbarkeit der Verbindung getroffen werden.

Der Anwendungsschwerpunkt der GKSS-Entwicklungen im Bereich der Füge-techniken liegt vor allem im Luftfahrtbereich, aber auch bei anderen Verkehrstechnologien. Eine Herausforderung stellt dabei die Herstellung von Hybridstrukturen aus unterschiedlichen Werkstoffen dar. Als Beispiele dafür kann man reibrührgeschweißte Bleche nennen, die aus zwei verschiedenen Werkstoffen bestehen (z. B. Aluminium und Magnesium), so genannte Tailored Blanks, oder auch diffusionsgeschweißte Ventile für Automotoren aus einer TiAl-Legierung, die einen Schaft aus Stahl oder Titan aufweisen.

Nanostrukturierte Materialien (seit 1989)

Seit Ende der 1980er Jahre werden bei GKSS nanostrukturierte Materialien mittels spezieller Dünnschichttechnologien sowie pulvermetallurgisch mittels Hochenergiemahlen hergestellt. Nanostrukturierte Materialien besitzen aufgrund ihrer extrem feinen Mikrostruktur außergewöhnliche mechanische und funktionale Eigenschaften und Eigenschaftskombinationen. Innerhalb der Grundlagenforschungen wurden zunächst die Mechanismen der Phasenbildung sowie der Mikrostrukturentwicklung umfassend charakterisiert. Auf den gewonnenen Erkenntnissen aufbauend nutzt GKSS seit Mitte der 1990er Jahre die außergewöhnlichen Eigenschaften für die Entwicklung neuer Produkte.

Eine sehr erfolgreiche Entwicklung stellte die Herstellung nanostrukturierter Röntgenoptiken dar. Anfang der 1990er Jahre wurden erstmals bei GKSS neuartige Sputterquellen mit der Ultrahochvakuum-Technologie kombiniert, um dünne



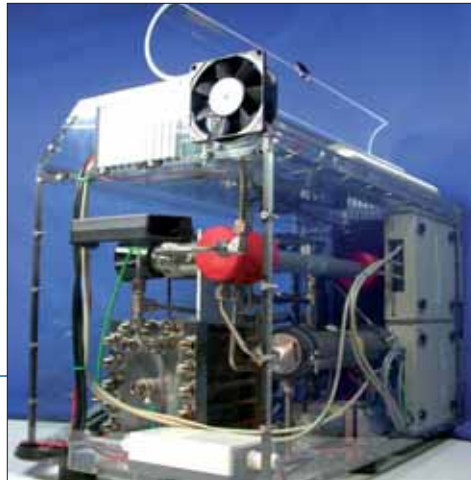
Von GKSS in Zusammenarbeit mit INCOATEC entwickeltes Viellagen-Schichtsystem für Röntgen Spiegel für die Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie. Lanthan / Borcarbid, Dicke der Doppellagen ca. 10 nm.

1989 • Nanostrukturierte Materialien.

Schichten und Vielschichten mit sehr hoher Reinheit und extremer Dickenpräzision reproduzierbar herzustellen. Aufbauend auf einer systematischen Grundlagenforschung zur Bildung metastabiler Phasen in Schichtstrukturen gelang es 1995, nanostrukturierte Vielschichten für röntgenoptische Anwendungen zu produzieren. Neben der Nutzung als Röntgenspiegel in Röntgendiffraktometern eröffneten sich dabei ebenfalls Anwendungen in der Röntgenanalytik. Die Qualität der von GKSS hergestellten Röntgenspiegel spielte dabei eine entscheidende Rolle, da sie wesentlich die untere Grenze für die Nachweisbarkeit der Elemente bestimmt. Die technologisch interessanten Ergebnisse wurden patentiert und führten 2002 zur Gründung der Firma INCOATEC GmbH durch Mitarbeiter des GKSS-Forschungszentrums.

Seit 1996 konzentrieren sich die Arbeiten auf dem Gebiet der nanostrukturierten Werkstoffe zudem auf die Untersuchung von Leichtmetall-Hydriden für die Wasserstoffspeicherung, die als eine der zentralen Herausforderungen für eine zukünftige Wasserstofftechnik für mobile Anwendungen gilt (z. B. für Autos, Handys, Kameras usw.). Durch die Entwicklung von nanokristallinen Magnesium-Legierungen mit geeigneten Katalysatorzusätzen wurde ein Durchbruch bei der Wasserstoffaufnahme- wie bei der -abgabekinetik erzielt. Damit waren die Be- und Entladung des Wasserstoffspeichers nun innerhalb weniger Minuten möglich, wodurch Leichtmetallhydride auch für den technischen Einsatz interessant wurden.

Seit 2000 umfassen die Arbeiten bei GKSS auch nanostrukturierte Alkali-Aluminiumhydrid-Verbindungen sowie seit 2004 reaktive Hydrid-Bor-Komposite, die eine reversible Wasserstoffspeicherkapazität von bis zu 11 % ihres Gewichts aufweisen. Neben der Entwicklung neuartiger Speichermaterialien konzentriert sich GKSS auch auf die kostengünstige Produktion dieser Materialien sowie Bau und Test von Prototypentanks, um die Materialien praxisnah zu bewerten. Damit rückt die Vision einer emissionsfreien Wasserstofftechnik für mobile Anwendungen ein erhebliches Stück näher.



Im Rahmen des BMWI-InnoNet-Projekts "Mini-Ely" entstandener Miniatur-Elektrolyseur zur Befüllung von Metallhydridspeichern als Ladestation für portable Brennstoffzellen.

1956

60

70

80

90

00

2006

3.3 Membranen in der Trenn- und Umwelttechnik (seit 1999)

Membranen gehören zu den integralen Bestandteilen aller lebenden Organismen. Sie bilden wichtige Bausteine des Lebens, da sie Schadstoffe filtern und Informationen übertragen, den Energiehaushalt optimieren und Nährstoffe transportieren. Die Funktionsweise von Membranen basiert auf ihrer Fähigkeit, selektiv bestimmte Moleküle passieren zu lassen oder sie abzublocken und somit Trennungen zwischen erwünschten und unerwünschten Molekülen vorzunehmen. So können beispielsweise dünne Filme aus Silikongummi organische Dämpfe von Luft abtrennen, oder Ethanol aus Bioalkohol-Gemischen anreichern. Filme aus anderen Materialien können Salze aus Wasser entfernen, um Trinkwasser zu gewinnen. Damit stellen Membranen die Vorbilder für technische Verfahren in der Stofftrennung dar, die nicht nur preiswerter in der Herstellung als herkömmliche Verfahren sind, sondern ebenfalls erheblich umweltschonender.

1999 richtete GKSS – basierend auf den langjährigen Erfahrungen in der Entwicklung und dem Einsatz von Membranen zur Meerwasserentsalzung durch Umkehrosmose bzw. als Filter – den neuen Forschungsschwerpunkt Umweltfreundliche Trenn- und Verfahrenstechnik ein. Ziel war es, das breite Spektrum von der Grundlagenforschung bis hin zum in der Praxis anwendbaren Endprodukt unter folgenden Fragestellungen zu bearbeiten: Wie genau werden Stoffe durch Membranen hindurch transportiert? Welche Polymerwerkstoffe für Membranen können entwickelt werden? Wie wären Pilotanlagen zu konstruieren?

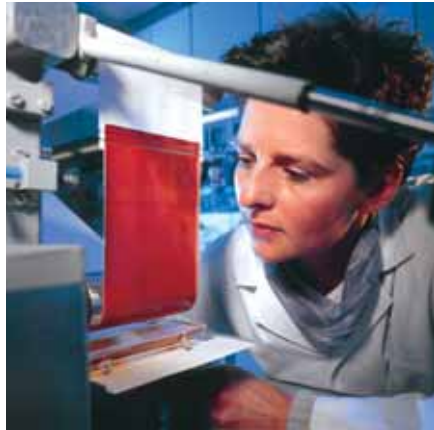
In diese Vorhaben von GKSS wurde gleichzeitig die Membranforschung des ehemaligen Forschungsinstituts der Akademie der Wissenschaften der



Anlage zur Benzindampfrückgewinnung an einem Tanklager der Aluminium Rheinfelden GmbH, heute Borsig MT.

1999 • Membranen für die Brennstoffzellentechnologie.

DDR in Teltow-Seehof eingebunden. Damit konnte das Spektrum der GKSS-Forschungsaktivitäten beträchtlich erweitert werden. Als besondere Beispiele kann man hier Membrananwendungen im Lifescience-Bereich und grundlegende Untersuchungen zu Transportmechanismen in Polymeren mittels Molecular Modelling nennen.



Die Forschungsergebnisse von GKSS auf dem Gebiet der Membranforschung wurden und werden häufig relativ schnell in industriell verwertbare Produkte und Prozesse umgesetzt. So sind sowohl Trennverfahren für Pharmaunternehmen (z. B. bei der Wirkstoffgewinnung) oder für die Medizintechnik (z. B. Hohlfasermembranen für künstliche Nieren) als auch für die Lebensmittelindustrie (z. B. zur Hydrierung von Speiseölen) sowie für die Petrochemie (z. B. bei der Benzindampfrückgewinnung in Tanklagern) aufgebaut worden bzw. werden weiterentwickelt.

Seit 1999 entwickelt GKSS ebenfalls Membranen für die Brennstoffzellentechnologie. Diese Arbeiten werden durch den Zusammenschluss verschiedener HGF-Zentren und Universitäten in einem von GKSS koordinierten Virtuellen Institut verstärkt. Membranen auf der Basis von Mischungen aus Polymeren mit organischen oder anorganischen Füllkörpern, intrinsisch mikroporösen Polymeren sowie Blockcopolymeren sind Neuentwicklungen von GKSS im Bereich der multi-funktionalen Werkstoffe.



oben: Membranherstellung im Labor-Maßstab.
unten: Prototyp einer Anlage zur Herstellung von Flachmembranen im industriellen Maßstab.

1956

60

70

80

90

00

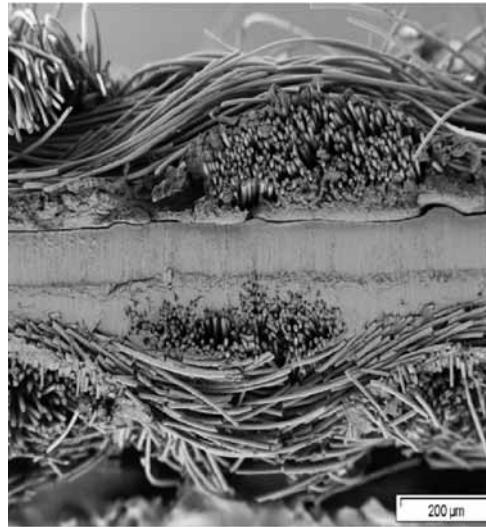
2006

3. Werkstoffmechanik und neue Materialien

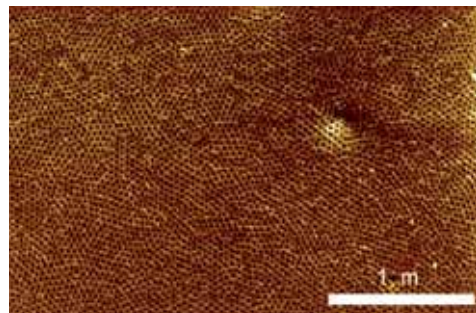
3.3 Membranen in der Trenn- und Umwelttechnik (seit 1999)

In den letzten Jahren wird darüber hinaus vermehrt der Einsatz von Membranen für Anwendungen in der Regenerativen Medizin erforscht. Neue Verarbeitungsmethoden wie das Elektrosponnen wurden etabliert und erlauben den Zugang zu Fasern mit Durchmessern im Nanometerbereich, die neben der Funktionalisierung von Membranoberflächen auch für biomedizinische Anwendungen und für Multikomponentenwerkstoffe neue Perspektiven eröffnen.

Dank des hoch entwickelten Niveaus der Membrantechnologie wird ihr von Experten eine zukunftsweisende Bedeutung beigegeben.



Zu Beginn des 21. Jahrhunderts hält GKSS eine Spitzenposition in der Membranforschung und -entwicklung in Europa. Das kommt besonders in der großen Anzahl der von GKSS koordinierten europäischen Projekte auf dem Gebiet der Membranforschung zum Ausdruck.



oben: Membran-Elektroden-Einheit für die Brennstoffzelle.

unten links: Membranmodul, unten rechts: Rasterkraftmikroskopische Aufnahme einer Polystyrol-block-polyethylenoxid Zweiblockcopolymer-Membran. Polyethylenoxid bildet die dunklen Kanäle.

3.4 Biomaterialien für die Regenerative Medizin (seit 2002)

Der wachsenden Lebenserwartung der Bevölkerung und den großen Erfolgen bei der Behandlung vieler Erkrankungen in früheren Lebensaltern korrespondiert der Anteil altersbedingter Beschwerden und Gebrechen. Zu diesen zählen etwa degenerative Gelenkschädigungen, dauerhafte oder zeitweilige Organausfälle und Diabetes mit sämtlichen Folgeerscheinungen. Außer den genannten Gesundheitsbeeinträchtigungen erfordern aber beispielsweise auch Unfallverletzungen umfassende Organunterstützungssysteme. Um die benötigten Grundlagen für zukünftige regenerative Therapiemaßnahmen zu schaffen und die mit weit reichenden sozioökonomischen Konsequenzen verbundenen Herausforderungen des Gesundheitssystems zu erfüllen, werden die Anstrengungen der Gesundheitsforschung besonders in diesem Bereich auf internationaler Ebene derzeit erheblich intensiviert.

Seit 2002 sind die Forschungsarbeiten des Instituts für Polymerforschung von GKSS am Standort Teltow im Programm Regenerative Medizin in den Forschungsbereich Gesundheit der Helmholtz-Gemeinschaft eingebunden. Das Teltower Institut widmet sich der Biomaterialentwicklung, wobei die Kernkompetenz sowohl in der Entwicklung multifunktionaler Materialien als auch in deren Verarbeitung z. B. zu Fasern, Folien, Membranen und porösen Strukturen aus Lösung oder Schmelze liegt. Untersuchungen zur Interaktion der Materialien mit physiologischen Umgebungen vermitteln Aufschluss über die Bioverträglichkeit der Materialien und liefern Erkenntnisse, die den gezielten Aufbau von Geweben in Zukunft erlauben. Diese Entwicklung der Multifunktionalität von Polymeren ermöglichte erstmals, eine maßgeschneiderte Biomaterialentwicklung in Angriff zu nehmen. Denn diese Kunststoffe haben das Potenzial, in völlig neuartigen Produkten eingesetzt zu werden, vor allem innerhalb der Regenerativen Medizin.

Die Biomaterialentwicklung erfolgt in enger Zusammenarbeit mit anderen Forschungsinstituten, Kliniken und der Industrie. Das Institut für Polymerforschung in Teltow beteiligt sich dabei vor allem am Aufbau eines Translationszentrums zur Überführung der Forschungsergebnisse

3. Werkstoffmechanik und neue Materialien

3.4 Biomaterialien für die Regenerative Medizin (seit 2002)



FORSCHUNG MIT TRADITION: FORSCHUNGSSTANDORT TELTOW-SEEHOF

Als 1992 die Membranforschung des Institutes für Polymerenchemie Teltow-Seehof (bei Berlin) in das GKSS-Institut für Chemie integriert wurde, stieß eine über knapp drei Jahrzehnte gewachsene Forschungs-kompetenz zu GKSS hinzu.

Den Forschungsstandort Teltow-Seehof selbst gibt es seit 1921. Er war entstanden, als das Unternehmen „Vereinigte Glanzstoff-Fabrik“ (VGF) seine Forschungs- und Entwicklungsabteilung hierher verlegte, nachdem dessen Werk im Elsass in der Folge des I. Weltkriegs an Frankreich gefallen war. Die Forschungen an diesem privatwirtschaftlichen Institut, das in den Jahren 1923-1927 von dem renommierten Chemiker Dr. Emil Heuser geleitet wurde, richteten sich vor allem auf den Viskoseprozess, ein Verfahren zur Herstellung von Chemiefäden auf Cellulosebasis.

1928 ging die Aktienmehrheit an dem Institut an die niederländische „Allgemeine Kunstseiden-Union“ (AKU) über. Nach dem II. Weltkrieg in der Sowjetischen Besatzungszone liegend wurde die Einrichtung de facto enteignet. Im Rahmen der Wissenschaftsorganisation der DDR war dem bis dahin sehr spezialisierten Institut eine neue, weiter gefasste Funktion zugeordnet: die eines zentralen allgemeinen Chemiefaser-Instituts für die DDR. So wurde es 1949 als „Institut für Faserstoff-Forschung“ (IFF) unter dem Dach der „Akademie der Wissenschaften“ neu gegründet. Aufgrund ihrer unmittelbaren Relevanz für die Textilindustrie besaß die Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Chemiefasern in der DDR eine relativ hohe Förderpriorität und das IFF wurde in den 1950er und 1960er Jahren zu einem beachtlichen Forschungsinstitut ausgebaut. Nach dem wirtschafts- und wissenschaftspolitischen Kurswechsel von 1971 wurde die Kooperation zwischen IFF und

Chemiefaserindustrie stark intensiviert und gestaltete sich zunehmend straffer und verbindlicher.

1972 kam es zu einer tief greifenden Umstrukturierung, die eine Erweiterung der Forschungsfelder mit sich brachte und einen neuen Namen: Das IFF hieß jetzt Institut für Polymerenchemie (IPOC).

In den 1970er Jahren entwickelte sich das IPOC weiterhin erfolgreich und konnte die Themenpalette seiner Forschungen weiter verbreitern. Vor allem mit den Arbeiten zur Synthese und Charakterisierung von Polyelektrolyten, zur Chemie und Physik der Cellulose, zur Entwicklung von Membranen als Trennmateriale, zur Synthese von Adhäsiva und zur Emulsionspolymerisation wurde die Grundlage geschaffen, auf der das Institut nach der Wende seine Zukunftsfähigkeit unter Beweis stellen konnte.

Die 1980er Jahre waren am IPOC durch die Krise der DDR-Wirtschaft und das Ausbleiben nötiger Investitionen geprägt. Die technische Ausrüstung und das angesammelte Know-how waren dennoch 1989 auf einem so hohen Niveau, dass das Institut nach der Wiedervereinigung nicht wie viele andere „abgewickelt“, sondern nach der Begutachtung durch den deutschen Wissenschaftsrat als wertvolle Kapazität im Rahmen der nunmehr gesamtdeutschen chemischen Forschung bewertet wurde. Zur Jahreswende 1991/92 hörte das IPOC auf zu existieren. Der umfassende Umbau des Instituts hatte zur Erhaltung seiner Arbeitsgebiete eine Aufgliederung in mehrere Einzelinstitute notwendig gemacht, zu denen seit 1992 auch der Institutsteil Teltow-Seehof mit der Membranforschung des Institutes für Chemie im GKSS-Forschungszentrum Geesthacht gehörte.

2006 • Einrichtung eines Zentrums für Biomaterialentwicklung am Standort Teltow.

1956

in Regenerative Therapien an der Charité in Berlin (BCRT) und ist Partner in der Regenerative Medizin Initiative Berlin-Brandenburg. Die in dieser Zusammenarbeit entstandenen Produkte erfüllen die hohen Anforderungen der Medizin, wie sich beim Ersatz geschädigter Gewebe und Organe mit Hilfe der Möglichkeiten des Tissue-Engineerings (Organ- und Gewebersatz) ebenso gezeigt hat wie bei leistungsfähigen Implantaten oder in der kontrollierten Wirkstofffreisetzung sowie in der minimalinvasiven Chirurgie (Knopflochchirurgie).

Die durch ihren innovativen Charakter und ihr hohes Anwendungspotenzial wegweisenden Arbeiten zur Entwicklung von Formgedächtnismaterialien (die sich dadurch auszeichnen, dass sie in Abhängigkeit von einem äußeren Reiz ihre Form ändern), bildeten die Basis für den Aufbau eines Zentrums für Biomaterialentwicklung am Standort Teltow. Hier wird beispielsweise intelligentes und auf Wärme reagierendes medizinisches Nahtmaterial entwickelt, das unter anderem in der Lage ist, sich selbst zum Knoten zu formen und eine definierte Spannung auf Wundränder auszuüben. Unter Nutzung derartiger stimuli-sensitiver Kunststoffe ist es ebenfalls möglich, sperrige Implantate durch kleine Öffnungen in den Körper zu transportieren, die dann an der gewünschten Stelle ihre vorgesehene Funktion entfalten können.

Wissenschaftler des Instituts für Polymerforschung und des MIT, Cambridge, USA, untersuchten ferner, ob und wie auch Licht das Formgedächtnis des Polymers auslösen kann. Durch die Einführung lichtempfindlicher Materialsysteme wurden die Anwendungsmöglichkeiten der Formgedächtniskunststoffe deutlich erweitert. So lassen sich beispielsweise intelligente Nahtmaterialien und Gefäßstützen (Stents) mit solchen Materialien realisieren. Aktuelle Forschungen zielen zudem darauf, Materialien zu entwickeln, die ihre Form unter Einfluss von magnetischen Feldern verändern.



Nierenepithel-Zellschicht auf einer Polyacrylnitril-Membran.

2006

3. Werkstoffmechanik und neue Materialien

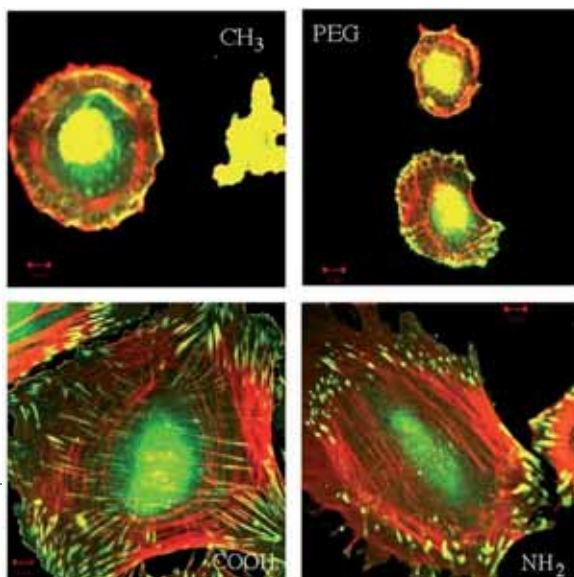
3.4 Biomaterialien für die Regenerative Medizin (seit 2002)

Auf dem Weg des Bio-Interface-Engineering stehen GKSS-Wissenschaftler vor zwei Herausforderungen: Zum einen gilt es, Zellfunktion und -vitalität zu erhalten, und zum anderen ist die jeweils erforderliche Zellteilung und -differenzierung über die integrierte kontrollierte Freisetzung bioaktiver Moleküle (wie Wachstumsfaktoren) und die physikalische Stimulation zu steuern. Darüber hinaus soll durch die Umsetzung biomimetischer Konzepte die weitere Annäherung von Scaffoldprodukten (Gerüststrukturen für das Zellwachstum) an die Funktionalität der jeweiligen natürlichen Zellumgebung (extrazellulären Matrix) verfolgt werden.

In Teltow werden zudem Bioreaktoren für grundlegende Untersuchungen außerhalb des jeweiligen Organismus (in vitro) entwickelt, hauptsächlich im Zusammenhang mit tierischen Stammzellen sowie Organunterstützungssystemen. Im Bereich des Gewebeersatzes werden unter besonderer Berücksichtigung von Stammzellentechnologien Anwendungen sowohl für strukturierten Knorpel und Muskeln als auch für die Haut erforscht. Ein Ziel besteht in der Entwicklung von Stammzelltherapien im Bereich der Ischämie (Durchblutungsstörung), das gemeinsam mit der Universitätsklinik Rostock verfolgt wird.

Außerdem bearbeiten die Teltower Wissenschaftler mit dem Deutschen Krebsforschungszentrum erfolgreich das Tissue Engineering künstlicher Haut. Die Herstellung künstlicher Haut und deren dauerhafte Verbindung mit dem menschlichen Gewebe verspricht aber auch Verbrennungsoptionen hoffnungsvolle Perspektiven, da eine Behandlung mit aus körpereigenen Zellen gebildetem Hautersatz erheblich vereinfacht und beschleunigt durchführbar ist.

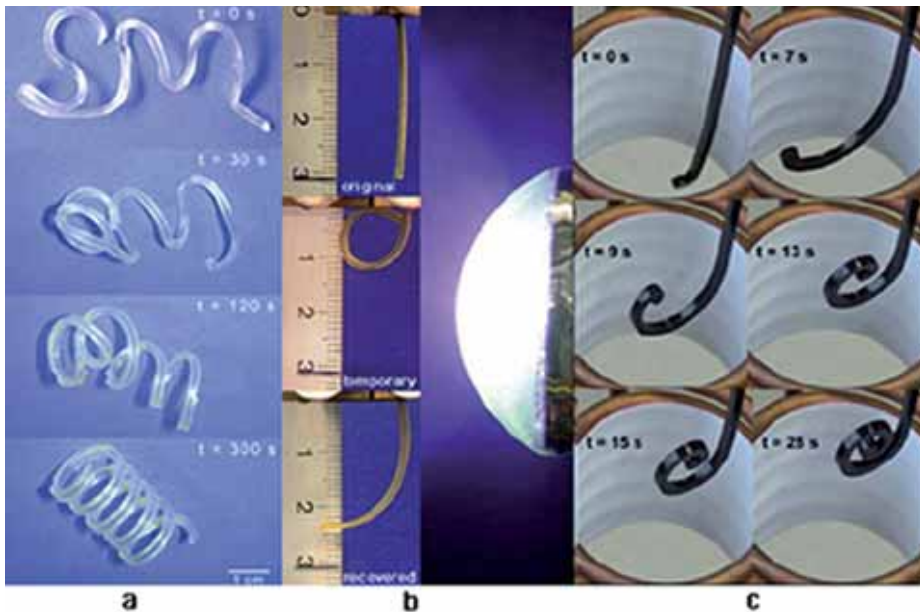
Die Integration neuerer Forschungen in der Materialwissenschaft und -technologie, der Nano- und



Rasterlasermikroskop-Aufnahmen von Humanfibroblasten (63fache Vergrößerung, Maßstab 10 Mikrometer).

2003 • Formgedächtniskunststoffe für medizinische Anwendungen.

Mikrotechnologie sowie in der Computerwissenschaft und Informationstechnologie, der Biotechnologie und Biophysik und des Tissue Engineering, der allgemeinen Medizinforschung und der Molekularbiologie hat zur Entwicklung eines neuen interdisziplinären Gebietes für Technologien und Produkte geführt. Dadurch wird die Lücke zwischen Lösungen der Natur und menschlicher Technologie mehr und mehr überbrückt. Diese Art der Verknüpfung verschiedener Technologien ist integraler Bestandteil der Helmholtz- Innovationsstrategie für das Gebiet Regenerative Medizin, welches signifikante Verbesserungen gegenwärtiger therapeutischer Ansätze erwarten lässt.



Formgedächtniskunststoffe entwickelt für medizinische Anwendungen, die durch unterschiedliche äußere Reize ihre Form ändern.

1956

60

70

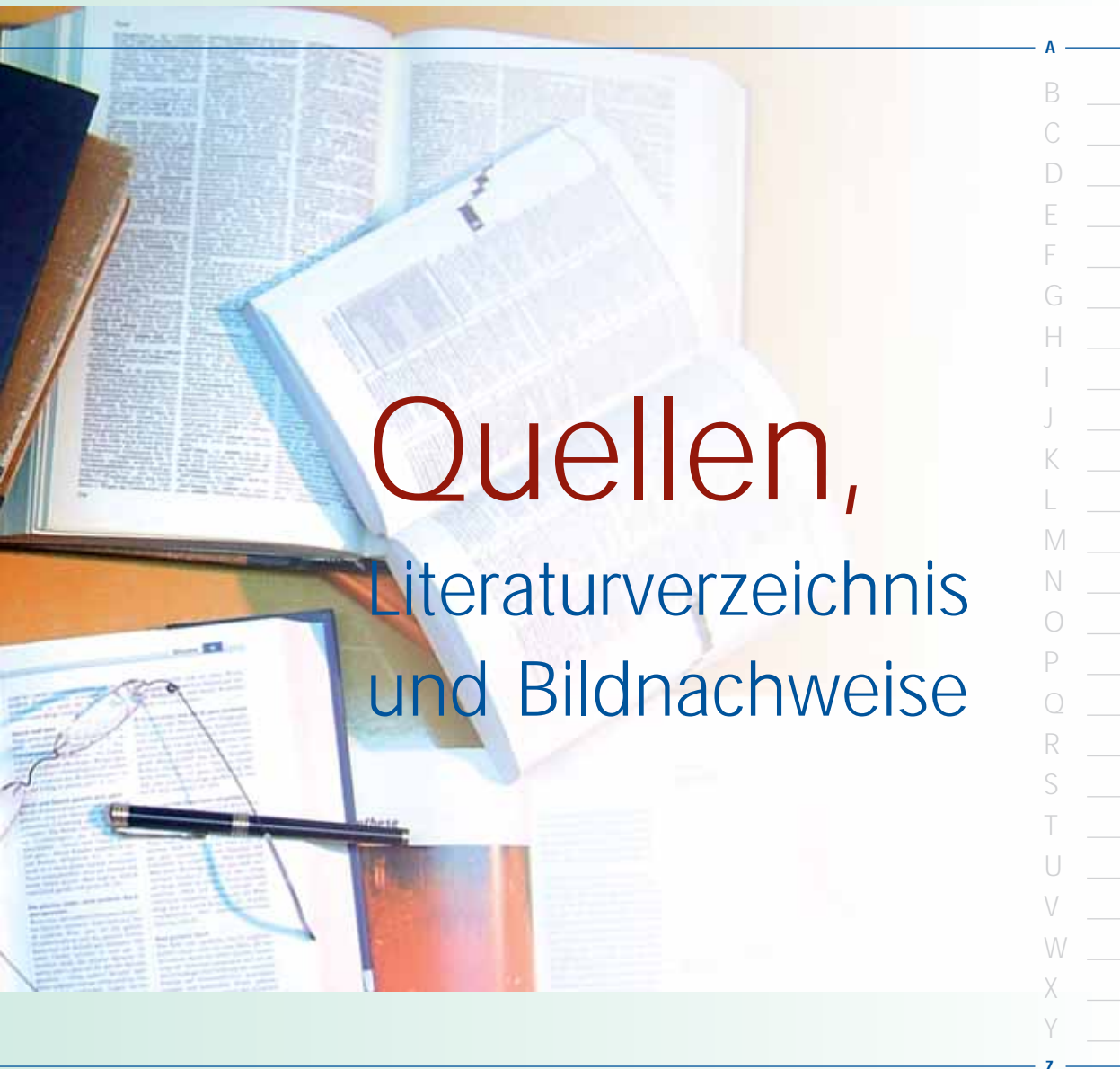
80

90

00

2006





Quellen, Literaturverzeichnis und Bildnachweise

- A
- B
- C
- D
- E
- F
- G
- H
- I
- J
- K
- L
- M
- N
- O
- P
- Q
- R
- S
- T
- U
- V
- W
- X
- Y
- Z

- Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen: Großforschung in der Bundesrepublik Deutschland, Bonn 1993.
- Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen: Handbuch der Großforschung, Bonn 1985-1995.
- Bittner, Karsten: NS Otto Hahn. Vor 20 Jahren beendete das einzige deutsche atomgetriebene Schiff seine letzte Reise, in: Deutsche Schifffahrt Bd. 21 (1999), S. 5-9.
- Boehart, William u. Wolf Rüdiger Busch (Hrsg.): Ein Traum ohne Ende. Beiträge über das Leben und Wirken Alfred Bernhard Nobels aus dem Jubiläumsjahr 2001 in Geesthacht, Münster 2004.
- Dube, Norbert: Die öffentliche Meinung zur Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland: 1955-1986; eine Dokumentation, Berlin 1988.
- Engelhardt, Wolfgang: Beharrlich in kleinen Schritten. 50 Jahre Natur- und Umweltschutz in Deutschland, Berlin 2002.
- Fanger, Hans-Ulrich u.a.: Schwermetalle in der Elbe und ihre Bilanzierung, Geesthacht 1991.
- Fanger, Hans-Ulrich u.a.: Wasser- und Schwebstofftransport im Sylt-Römö-Wattenmeer, Geesthacht o. J. (MS).
- Gerlach, Walther: Otto Hahn. Ein Forscherleben in unserer Zeit, Stuttgart 1984.
- Gruber, Karl: Der Krümmel. Die erste Dynamit-Fabrik Alfred Nobels, Geesthacht 1999.
- GKSS-Forschungszentrum: 25 Jahre GKSS, Geesthacht 1981.
- GKSS-Forschungszentrum: 40 Jahre GKSS, in: Unter Uns, GKSS-Mitarbeitermagazin 3/1996, Beilage, Geesthacht 1996.
- GKSS-Forschungszentrum: Abschlussbericht zum Forschungsschwerpunkt Unterwassertechnik, zusammengestellt und bearbeitet v. Hans-Jürgen Deeg, Geesthacht 2004.
- GKSS-Forschungszentrum: Ästuarforschung am Beispiel der Tidelbe, Geesthacht o. J.
- GKSS-Forschungszentrum: Jahresbericht, Geesthacht 1970-2005.
- GKSS-Forschungszentrum: NS Otto Hahn – Erstes deutsches Kernergieschiff, Geesthacht 1981.
- GKSS-Forschungszentrum: Protokolle über die Sitzung des Aufsichtsrates der Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt m.b.H., Geesthacht 1956-1970 (MS).
- GKSS-Forschungszentrum: Protokolle über die Sitzung des wissenschaftlich-technischen Beirats der Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt m.b.H., Geesthacht 1956-1970 (MS).
- Hahn, Dietrich (Hrsg.): Otto Hahn. Leben und Werk in Texten und Bildern, Frankfurt a. M. 1988.
- Hohensee, Jens: Der erste Ölpreisschock 1973/74. Die politischen und gesellschaftlichen Auswirkungen der arabischen Erdölpolitik auf die Bundesrepublik Deutschland und Westeuropa, Stuttgart 1996. [=Historische Mitteilungen, Beiheft17].
- Jäger, Helmut: Einführung in die Umweltgeschichte, Darmstadt 1994.
- Justo, Luciene Fernandes: Die Geschichte der GKSS von 1968 bis 1984 als Beitrag zur Geschichte der Großforschung in der Bundesrepublik Deutschland, Abschlussbericht, Geesthacht o. J. [2001] (MS).

Quellen und weiterführende Literatur.

Justo, Luciene Fernandes: Großforschung im Kontext. Die GKSS und ihre forschungspolitischen Ziele in den siebziger Jahren, in: Antworten auf die amerikanische Herausforderung. Forschung in der Bundesrepublik und der DDR in den "langen" siebziger Jahren, hrsg. v. Gerhard A. Ritter, Frankfurt a. M. u. New York 1999, S. 163-187.

Kaysser, Wolfgang A.: Großforschung im gesellschaftlichen Wandel. Festrede, gehalten am 11.02.2005 an der Technischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, o.O. [Geesthacht] 2005 (MS).

Kernergieschiff NS Otto Hahn, Hamburg o. J. [1969].

Löffler, Theodor: Meerwasserentsalzung, Stuttgart 1990.

Müller, Wolfgang D.: Die Geschichte der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland, Stuttgart 1990.

Mutert, Susanne: Großforschung zwischen staatlicher Politik und Anwendungsinteresse der Industrie (1969-1984), Frankfurt a. M. 2000.

Radkau, Joachim: Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft 1945-1975, Reinbek bei Hamburg 1983.

Renneberg, Monika: Gründung und Aufbau des GKSS-Forschungszentrums Geesthacht. Ein Beitrag zur Geschichte der Großforschungseinrichtungen in der Bundesrepublik Deutschland, Frankfurt a. M./ New York 1980. [=Studien zur Geschichte der deutsche Großforschungseinrichtungen, Bd. 7].

Ritter, Gerhard Albert: Großforschung und Staat in Deutschland. Ein historischer Überblick, München 1992.

Samhaber, Wolfgang M.: Erfahrungen und Anwendungspotential der Nanofiltration, in: VDI Wissensforum. Membrantechnik in der Prozessindustrie, Seminar 415003, 20.-21. September 2005, Berlin. [<http://www.vdiwissensforum.de/fileadmin/pdf/415003.pdf>].

Schnier, C. u. Hans-Ulrich Fanger: Development and application of an iridium tracer for tracking tailings in the central Red Sea, Geesthacht 1983.

Simonis, Udo E.: Wasserpolitik. Handlungsstrategien für eine nachhaltige Wasserversorgung, Berlin o. J. [http://www.berlininstitut.org/pdfs/Simonis_Wasserpolitik.pdf].

Stettler, Niklaus: Die Zukunft der 50er und 60er Jahre. Zukunftsvorstellungen und Technikutopien in wissenschaftlicher und populärwissenschaftlicher Literatur 1950 bis 1968, Basel 1993 (MS).

Stiftung Naturschutz: Natur im Sinn. Beiträge zur Geschichte, Essen 2001. [=Veröffentlichungen der Stiftung Naturschutzgeschichte, Bd. 2].

Szöllösi-Janze, Margit: Großforschung in Deutschland, Frankfurt am Main 1990.

Tode, Sven: Chronik des Hahn-Meitner-Instituts in Berlin, Hamburg 2005.

Trischler, Helmut: Hoffnungsträger oder Sorgenkind der Forschungspolitik? Die bundesdeutsche Großforschung in den „langen“ siebziger Jahren, in: Dahlemer Archivgespräche, Bd. 5 (1999), S. 200-214.

Weil, Leopold: Charakterisierung der Risiken der Kernenergienutzung, Aachen 2003.

Weinberg, Alvin Martin: Probleme der Großforschung, Frankfurt a. M. 1970.

Witthöft, Hans Jürgen: Energie aus der Nordsee, Herford 1979.

World Health Organization and United Nations Children's Fund (Hrsg.): Meeting the MDG Drinking Water and Sanitation Target. A Mid-Term Assessment of Progress, New York u.a. 2004.

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

X

Y

Z

- Seite 17: Klaus F. Kallmorgen, Hamburg im Auftrag der Studiengesellschaft zur Förderung der Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt
- Seite 19 unten: Archiv Bergedorfer Schloss
- Seite 23 unten: Nordmark Film, Kiel
- Seite 24: www.ohg-marktredwitz.de
- Seite 29: Fotografie Geisler
- Seite 30: Fotografie Geisler
- Seite 36: Prof. Dr.Dr.-Ing. habil. Karl W. Böddeker, Glinde
- Seite 47: Dittmer Oceanographic Instruments
- Seite 55: www.photolib.noaa.gov/historic/nws/wea00800.htm
- Seite 60: ACCESS e.V., Aachen
- Seite 62: Fotografie Geisler
- Seite 63: Fotografie Geisler
- Seite 65: Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG
- Seite 67: ACCESS e.V., Aachen
- Seite 70: Institut für Angewandte Physik, Universität Kiel
- Seite 72: Fraunhofer ISE, Freiburg
- Seite 74: Aluminium Rheinfelden GmbH, heute Borsig MT

Alle übrigen GKSS

