

[Jahresbericht 2012]

Impressum

Herausgeber

Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Abteilung Kommunikation
Leitung: Sven Dokter

Redaktion

Sven Dokter, Verena Güllmann, Horst May

Lektorat

Verena Güllmann, Sabine Roggenkämper

Grafische Umsetzung

Regina Knoll, Dieter Komp

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit Genehmigung der
Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Schwertnergasse 1, 50667 Köln

Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort	1
2 Meilensteine 2012	3
3 Organisation, Unternehmensentwicklung, Öffentlichkeitsarbeit ...	9
4 Projekte und Arbeitsschwerpunkte	
Reaktorsicherheit	17
Stellungnahmen, Weiterleitungsnachrichten, Untersuchungen	
Arbeiten zum Reaktorunfall in Fukushima	
Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerks	
Weiterentwicklung von Simulationsprogrammen in der Reaktorsicherheit	
Strukturdynamische Analysemethoden zur Simulation des Verhaltens von Containmentstrukturen bei Einwirkungen von außen und von innen	
Weiterentwicklung der Methoden der probabilistischen Sicherheitsanalyse	
Richtlinie zum Schutz von IT-Systemen in Kernkraftwerken	
SARNET 2 – Generic Containment Code Benchmark	
Entsorgung	35
Projekt VIRTUS – Entwicklung eines virtuellen Untertagelabors	
Projekt REPOPERM – Forschung zum Kompaktionsverhalten von Salzgrus	
Änderung der Zielsetzung der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben	
Forschung zu THMC-Prozessen in der Übergangsphase eines Endlagers	
Aktualisierung »Handbuch zur Kritikalität«	
CFM Projekt – Forschung zum Einfluss von Bentonit-Kolloiden auf den Nuklidtransport in Endlagern	
Strahlenschutz	46
ARTM – Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell	
Stilllegung kerntechnischer Anlagen	

Umweltschutz	49
Projekt GeoSys – Systemanalyse der geothermalen Energieerzeugung	
Erweiterung von Simulationscodes zur Grundwasserbewegung und zum Schadstofftransport für nicht-nukleare Anwendungen	
Untersuchungen zur Vermeidung und Entsorgung von Quecksilber	
Entwicklung eines thermodynamischen Modells für Zink, Blei und Cadmium in salinaren Lösungen	
Internationale Projekte	56
Zusammenarbeit mit ausländischen Partnern und Behörden	
Unterstützung europäischer Initiativen zur nuklearen Sicherheit	
Arbeiten für das EURATOM-Forschungsprogramm und die INSC-Kooperation	
Abrüstungsinitiative G8GP erfolgreich beendet	
Tschernobyl-Projekte im Auftrag der Europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung)	
GRS unterstützt Niederlande bei der Überarbeitung ihres Regelwerks	
5 Projektträger/Behördenunterstützung	65
6 Beteiligungen und Tochterunternehmen	69
Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH	
Riskaudit	
ENSTTI	
7 Anhang	73
Kooperationsverträge	
Publikationen	
Abkürzungsverzeichnis/Glossar	

Liebe Leserin, lieber Leser,

unsere Rückschau auf das Jahr 2012 muss schon aus Gründen der Chronologie mit einem kleinen Jubiläum beginnen, denn zum 1. Januar 1977 hatte die GRS ihren Geschäftsbetrieb aufgenommen. Wir konnten damit auf 35 Jahre erfolgreicher Tätigkeit als Forschungs- und Sachverständigenorganisation zurückblicken – manche unserer Kollegen sogar ganz persönlich, sozusagen als »Fachleute der ersten Stunde«.

Der Blick auf diese 35 Jahre macht für uns zwei Dinge deutlich. Zum einen, dass dauerhafter Erfolg die Fähigkeit zur Veränderung voraussetzt, vor allem zur Anpassung an ein sich ständig wandelndes Umfeld. Ein ganz konkretes Beispiel hierfür ist der Umstand, dass seit 2007 rund 250 neue, häufig noch junge, Kolleginnen und Kollegen zu uns gestoßen sind. Dafür, dass wir diesen Generationswechsel erfolgreich gestalten konnten, sprechen aus unserer Sicht auch die fachlichen Ergebnisse, die wir Ihnen mit diesem Jahresbericht näherbringen wollen. Zum anderen konnte die GRS aber auch deshalb über all diese Jahre erfolgreich sein, weil sie sich ihren »Gründungsprinzipien« verpflichtet sieht: dem wissenschaftlichen Arbeiten, der Bewahrung fachlicher Unabhängigkeit und dem Bewusstsein, sich als gemeinnütziges Unternehmen für den Schutz von Mensch und Umwelt einzusetzen. Sie bilden die notwendigen Konstanten im Wandel.

Bei einem fachlichen Rückblick auf das Jahr 2012 spielt der Reaktorunfall in Fukushima eine wichtige Rolle. Neben den Forschungsprojekten, die wir Ihnen im Kapitel 4.1 vorstellen, sind hier auch die vielfältigen Aufgaben zur Unterstützung des Bundesumweltministeriums (BMU) im Rahmen des EU-Stresstests und der außerordentlichen Konferenz der Mitgliedsstaaten der Convention on Nuclear Safety im August 2012 zu nennen. Die Erkenntnisse aus einem Jahr fachlicher Arbeit zu dem Unfall sind außerdem in den Bericht »Fukushima Daiich 11. März 2011 – Unfallablauf, radiologische Folgen« eingeflossen, den die GRS anlässlich des ersten Jahrestages veröffentlicht hat und der auch außerhalb der Fachwelt eine breite Leserschaft gefunden hat.

Daneben möchten wir Ihr Augenmerk aber auch auf eine Reihe weiterer Projekte lenken, die für uns besonders wichtig sind. So konnte mit der Verabschiedung der neuen »Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke« durch Bund und Länder im November 2012 das Projekt zur Überarbeitung des kern-technischen Regelwerks nach fast zehn Jahren Arbeit weitgehend abgeschlossen werden. Im Juni 2012 konnten Kollegen des Endlagerforschungszentrums der GRS zusammen mit ihren Projektpartnern die ersten Ergebnisse aus dem



Prof. Dr. Frank-Peter Weiß
Technisch-wissenschaftlicher
Geschäftsführer

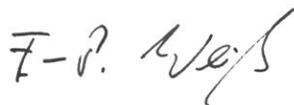


Hans J. Steinhauer
Kaufmännisch-juristischer
Geschäftsführer

Projekt VIRTUS vorstellen, in dem das weltweit erste virtuelle Untertagelabor mit einer dreidimensionalen grafischen Oberfläche entwickelt wird. Eine weite Verbreitung vor allem in Fachkreisen hat ein Bericht zur »Stilllegung kerntechnischer Anlagen« gefunden, der in unserem Fachbereich Stilllegung erarbeitet und in deutscher und englischer Sprache veröffentlicht wurde. Auf dem Gebiet des konventionellen Umweltschutzes leisteten Wissenschaftler unseres Geowissenschaftlichen Labors in zwei von BMU und Umweltbundesamt geförderten Vorhaben wichtige Beiträge zur sicherheitstechnischen Bewertung der untertägigen Deponierung von Quecksilber und zur Entwicklung von Strategien zur Vermeidung dieses Schadstoffs. Mehr zu diesen und weiteren Projekten finden Sie in Kapitel 4.

Hinweisen möchten wir Sie auch auf den Überblick über unsere internationalen Projekte. Bereits seit den frühen 1990er-Jahren trägt die GRS vor allem in zahlreichen Projekten der Bundesregierung und internationaler Institutionen wie der Europäischen Kommission dazu bei, die kerntechnische Sicherheit in anderen Staaten durch Unterstützung von Behörden und Fachorganisationen voranzubringen. Ein in dieser Hinsicht beispielhaftes und für die GRS wichtiges Projekt war die Unterstützung des Auswärtigen Amtes im Rahmen des Programms »Global Partnership« der G8-Staaten, das Ende 2012 nach zehn Jahren Laufzeit erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Hier wirkten Fachleute der GRS – u. a. mit intensivem Einsatz vor Ort – maßgeblich daran mit, dass die Sicherung von Kernmaterialien in mehreren russischen Anlagen auf den heutigen Stand von Wissenschaft und Technik gebracht wurde.

Wir hoffen, wir konnten Sie neugierig auf die GRS machen und wünschen Ihnen eine interessante Lektüre!



Prof. Dr. Frank-Peter Weiß



Hans J. Steinhauer

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH

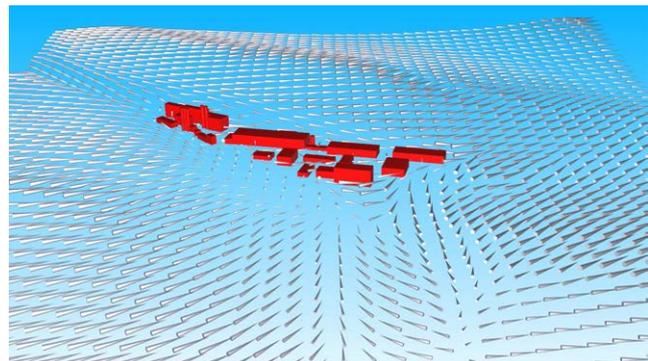
2012

Januar

Für die GRS beginnt das Jahr 2012 mit einem Grund zum Feiern: Sie wird 35 Jahre alt.

Unter dem Dach des Global Nuclear Safety and Security Network (GNSSN) der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) wird zu Jahresbeginn das TSO-Forum gegründet. Die GRS nimmt in ihrer Funktion als Technische Sicherheitsorganisation (TSO) Deutschlands daran teil.

Eine neue Version des GRS-Programmsystems zur Ausbreitungsberechnung, GO-ARTM, erscheint.



(Abbildung: GRS)

Februar

Die GRS veröffentlicht im Februar eine Informationsbroschüre zum Thema »Stilllegung kerntechnischer Anlagen« in deutscher und englischer Sprache, von der über das Jahr rund 2.500 Exemplare verteilt werden.



(Foto: Forschungszentrum Jülich)



(Foto: GRS)

..... Die Wissenschaftspressekonferenz, der Verband der Wissenschaftsjournalisten in Deutschland, lädt zu einem Hintergrundgespräch in die Kölner GRS ein. Thema ist das Reaktorunglück in Fukushima.

Die GRS unterstützt das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) beim Topical Review Meeting zum Stresstest der European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG) in Luxemburg.

März

Die GRS gibt zum Fukushima-Jahrestag am 11. März den Bericht »Fukushima Daiichi-Unfallablauf, radiologische Folgen« heraus. Im Laufe des Jahres wird der Bericht über 8.300 Mal von der Website abgerufen.



Anlässlich des Jahrestages halten viele GRS-Experten Vorträge auf Tagungen im In- und Ausland. GRS-Geschäftsführer Prof. Frank-Peter Weiß spricht u. a. auf einer Konferenz der US-Aufsichtsbehörde über die Sicherheitsforschung nach Fukushima.

Die GRS richtet in Köln eine Konferenz zur Erforschung schwerer Unfälle aus: die *ERMSAR* (European Review Meeting on Severe Accident Research). Mehr als 150 Teilnehmer aus über 20 Ländern besuchen die Veranstaltung.

Die GRS unterstützt das *BMU* beim Country Review Meeting des *ENSREG*-Stresstests in Bonn.



(Foto: GRS)



(Foto: GRS)

..... In der GRS in Köln findet ein Workshop zum Forschungsvorhaben Geothermale Systemanalyse (*GeoSys*) statt.

April

Die Energieagentur der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (*OECD NEA*) gründet den Salt Club. Die Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit der Erforschung von Endlagern im Salzgestein. Erster Vorsitzender wird der GRS-Endlagerexperte Tilmann Rothfuchs.

Die Anwender des integralen Simulationscode *MELCOR* tauschen bei der GRS in Köln ihre Erfahrungen aus. Etwa 40 Institutionen weltweit setzen *MELCOR* zur Analyse schwerer Unfälle in Kernkraftwerken ein.



(Foto: GRS)

Mai

Die GRS unterstützt das *BMU* im Vorfeld und vor Ort bei der 4. *IAEO*-Überprüfungskonferenz der Joint Convention in Wien. Alle drei Jahre treffen sich die Mitgliedsländer der Joint Convention auf dieser Konferenz, um über den aktuellen Umgang mit abgebrannten Brennelementen und radioaktiven Abfällen in den einzelnen Ländern zu diskutieren.

Der vierte und letzte Fach-Workshop zur Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben (*VSG*) findet in Köln statt.

Schülerinnen und Schüler forschen am sogenannten Zukunftstag – der in einigen Bundesländern auch als Girls' oder Boys' Day bekannt ist – im Geowissenschaftlichen Labor der GRS in Braunschweig.



(Foto: GRS)

Juni

Die GRS stellt zusammen mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (*BGR*), der DBE TECHNOLOGY GmbH und dem Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (*IFF*) die ersten Ergebnisse zu VIRTUS, dem weltweit ersten virtuellen Untertagelabor, vor.

Die GRS schließt ein Kooperationsabkommen mit dem koreanischen Institut für nukleare Sicherheit (*KINS*) ab. Als Themen für eine zukünftige Zusammenarbeit werden vor allem die Gebiete Unsicherheits- bzw. Sensitivitätsanalysen für Computer Codes und die digitale Leittechnik identifiziert.

Alexander Kolbasseff wird neuer Geschäftsführer der GRS-Tochter *ISTec* GmbH.



(Foto: Dirk Mahler, Fraunhofer IFF)

Juli

Die *ISTec* GmbH feiert ihren 20. Geburtstag und verabschiedet ihren langjährigen Geschäftsführer Dr. Wolfgang Wurtinger. ...

Fachleute der GRS besuchen in Mexiko den 23. Jahreskongress der Mexikan Nuclear Society zum Thema »Fukushima NPS Accident«. Seit April unterstützt die GRS die mexikanische Aufsichtsbehörde bei dem Aufbau eines Qualitätsmanagements.

Bundestagsabgeordnete des Ausschusses für Wirtschaft und Technologie sind bei der GRS zu Besuch, um deren Arbeiten – insbesondere auf dem Gebiet der Reaktorsicherheitsforschung – kennenzulernen.



(Foto: GRS)

August

Nachwuchskräfte aus dem nuklearen Bereich diskutieren auf dem Sommerworkshop des European Technical Safety Organisations Network (*ETSON*) den Umgang mit radioaktiven Abfällen. Das Schweizer Paul Scherrer Institut und die russische *TSO SEC NRS* sind 2012 die neuesten Mitglieder von *ETSON*.

Die GRS unterstützt das *BMU* auf der Convention on Nuclear Safety (*CNS*)-Sonderkonferenz in Wien. Im Mittelpunkt der Konferenz steht die nukleare Sicherheit nach Fukushima.



Eine hochrangige Delegation der vietnamesischen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde *VARANS* reist zu Kooperationsgesprächen nach Garching. In der Berliner GRS nehmen Mitarbeiter von *VARANS* an einem Training zur Arbeit von Genehmigungsorganisationen teil. Das Training ist Teil des »Instruments für Zusammenarbeit im Bereich der nuklearen Sicherheit« (*INSC*) der Europäischen Kommission.

September

Das erste Arbeitstreffen des im Januar gegründeten *TSO*-Forums findet bei der GRS in Berlin statt. Auf der Generalkonferenz der *IAEO* stellt sich das *TSO*-Forum erstmalig einer breiten Fachöffentlichkeit vor. Auf der Konferenz ist die GRS als international arbeitende deutsche Forschungs- und Sachverständigenorganisation mit einem Informationsstand auf der Ausstellungsfläche des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (*BMWi*) vertreten.

Die GRS tauscht sich mit der japanischen *TSO* Japan Nuclear Energy Safety Organization (*JNES*) in Tokio zum Unfallablauf in Fukushima aus. Die Ergebnisse des Erfahrungs- und Informationsaustauschs fließen in das Vorhaben des *BMU* »Sicherheits- und Risikofragen im Nachgang zu den nuklearen Stör- und Unfällen in Japan« ein.

Der im April gegründete Salt Club organisiert in der GRS Braunschweig einen internationalen Workshop zu natürlichen Analoga für Endlager in Salzformationen. Natürliche Analoga bezeichnen Prozesse in der Natur, die denen in einem Endlager und seiner geologischen Umgebung entsprechen.



(Foto: GRS)

Oktober

Eine Delegation der russischen Aufsichtsbehörde Rostechnadzor besucht in der Garching GRS den »Workshop on Information Exchange and Transparency of the Regulatory Body« des *GNS-SV-Regulatory Network*.

Die GRS öffnet anlässlich des Tages der offenen Tür des Forschungscampus Garching ihre Pforten für die interessierte Öffentlichkeit.

Speziell für Kinder findet im September der »Türöffnertag« in der GRS Braunschweig statt. Der Türöffnertag ist eine Initiative der Kindersendung »Die Sendung mit der Maus« des Westdeutschen Rundfunks (*WDR*) und soll Kindern die Möglichkeit geben, einen Einblick in Unternehmen und andere Lebensbereiche zu bekommen.



(Foto: GRS)



(Foto: GRS)

November

Das 13. EUROSAFE Forum findet in Brüssel zum Thema »Towards Enhanced Robustness in Nuclear Safety« statt. Mehr als 300 Teilnehmer besuchen die internationale Fachkonferenz, die von den *TSO GRS*, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (*IRSN*) und *Bel V* organisiert wird.



(Foto: GRS)



(Foto: GRS)

..... Die GRS ist erstmals auf dem Deutschen Geothermie-Kongress vertreten. GRS-Experten bieten dort einen Workshop zu professionellen Risikostudien an.

Die GRS schließt ihre Arbeiten zur Überarbeitung des Kerntechnischen Regelwerks erfolgreich ab. Der Hauptausschuss des Länderausschuss für Atomkernenergie verabschiedet abschließend die unter Leitung der GRS im Auftrag des *BMU* erarbeiteten »Sicherheitsanforderungen für Kernkraftwerke«.

Dezember

Nach zehn Jahren Laufzeit endet im Dezember die G8-Abrüstungsinitiative »Global Partnership« (G8GP). Die GRS hat mit diesem Projekt im Auftrag des Auswärtigen Amtes (AA) einen wichtigen Beitrag zur physischen Sicherung russischer Anlagen und Forschungsinstitute geleistet. Bereits im September war das Projekt zur Sicherung des russischen Chemiekombinats in Seversk abgenommen worden. Ein deutsch-russischer Festakt zum Ende der G8-Initiative fand Ende November in Moskau statt.



(Abbildung: GRS)



(Foto: Japans Ministry of Foreign Affairs)

..... In Fukushima findet die Ministerial Conference der IAEO statt. GRS-Experten begleiten das BMU zur Konferenz, um fachliche Unterstützung zu leisten und mögliche Themen und Fragestellungen zum Strahlenschutz zu eruiieren.

Das Jahr endet mit einer guten Bilanz: Insgesamt leisteten die 458 Mitarbeiter der GRS etwa eine halbe Million Arbeitsstunden, bearbeiteten fast 400 Projekte und veröffentlichten rund 90 Forschungsberichte.

Die GRS auf einen Blick

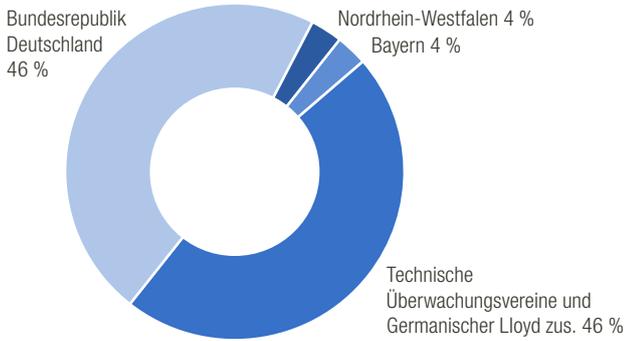
→ Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH ist eine gemeinnützige und unabhängige Forschungs- und Sachverständigenorganisation. Unser Arbeitsschwerpunkt liegt auf der nuklearen Sicherheit – hier ist die GRS seit 1977 Deutschlands zentrale Fachorganisation. Darüber hinaus befassen wir uns zunehmend mit Fragen der Sicherheit konventioneller Anlagen und Technologien.



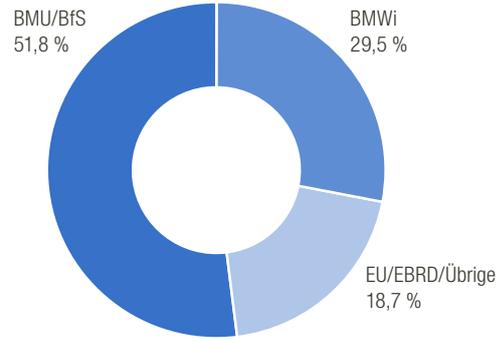
(Foto: © iStockphoto.com / Arthur_Dent)

	2012
Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gesamt	457
davon:	
technisch-wissenschaftliches Personal	361
Trainees	2
Auszubildende	2
Anzahl Neueinstellungen	41
Jahresumsatz	ca. 55 Mio. €
Ergebnis der gewöhnlichen Geschäftstätigkeit	0,91 Mio. €
Projekte , die die GRS im Rahmen der Forschungs-, Entwicklungs- und Gutachtertätigkeit bearbeitet hat	375
Publikationen (Auswahl)	
GRS-A-Berichte (ohne VS-vertraulich)	49
GRS-Berichte	21
Eurosafe Tribune (gemeinsam mit IRSN)	2
Einzelschriften (Stilllegung kerntechnischer Anlagen, Fukushima Daiichi 11. März 2011 – Unfallablauf, radiologische Folgen)	3
Webauftritt	
Einzelne Seitenaufrufe auf www.grs.de	686.020
Einzelne Seitenaufrufe auf www.fukushima.grs.de	234.305
Presseanfragen aus Print, TV und Hörfunk	> 120
Weiterleitungsnachrichten	6
Abgeschlossene Anfragen zu Codeüberlassungen	53

Gesellschafter



Auftraggeber (Umsatz 2012 ca. 55 Mio. €)



Organe

/// Gesellschafterversammlung

/// Aufsichtsrat

Vorsitzende: Ursula Heinen-Esser,
Parlamentarische Staatssekretärin im BMU
Stellvertretender Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Bruno O. Braun,
Vorsitzender des Vorstands TÜV Rheinland Berlin Brandenburg Pfalz e.V.

/// Geschäftsführung

Prof. Dr. Frank-Peter Weiß,
Technisch-wissenschaftlicher Geschäftsführer
Hans J. Steinbauer,
Kaufmännisch-juristischer Geschäftsführer

Organisation

(Stand: Dezember 2012)

Geschäftsführung			
Prof. Dr. F.-P. Weiß		H. J. Steinbauer	
STAB			
Öffentlichkeitsarbeit	IT-Management	Qualitätsmanagement	Interne Revision
S. Dokter	H. R. Seel	C. Eibl-Schwäger	K. Flaum

Reaktorsicherheitsforschung	Reaktorsicherheitsanalysen	Anlagenbetrieb	Endlagersicherheitsforschung	Strahlen- und Umweltschutz	Projekte und Internationales	Zentrale Dienste	Projekträger Behördenunterstützung
Dr. M. Sonnenkalb (komm.)	Dr. R. Stück	C. Versteegen	T. Rothfuchs	Dr. G. Pretzsch	Dr. H. Uhlenbruck	V. Watermeyer	R. Zipper
Barrierenwirksamkeit	Anlagentechnik	Anlagenzuverlässigkeit	Sicherheitsanalysen	Kernbrennstoff	Nationales Projektmanagement	Finanzen	
Dr. M. Sonnenkalb	Dr. M. Maqua	Dr. A. Kreuser	Dr. J. Mönig	Dr. B. Gmal	Dr. F. Jansen	V. Watermeyer	
Kühlkreislauf	Anlagenverhalten	Elektro- und Leittechnik	Prozessanalysen	Strahlenschutz	Internationales Projektmanagement	Personal und Recht	
W. Luther	W. Pointner	Dr. D. Sommer	Dr. H.-J. Herbert	H. Thielen	C. Eibl-Schwäger	M. Fillbrandt	
Kernverhalten	Anlagenkonzepte	Anlagensicherung		Endlagerung	Internationale Programme	Kommunikation	
Dr. K. Velkov	Dr. T. Schimpfke	Dr. W. Brücher		Dr. K. Fischer-Appelt	Dr. H. Teske	S. Dokter	
						Standortverwaltungen	
						G. Diepolder	
						J. Hanrieder	
						S. Krämer	
	Technisches Büro Kiev *)						
	M. Chouha						

*) gemeinsam mit IRSN/RISKAUDIT



Standorte

Der Kölner Betriebsteil ist der Hauptsitz der GRS. Hier sind alle GRS-Bereiche außer die Endlagersicherheitsforschung vertreten. Der fachliche Schwerpunkt liegt bei Reaktorsicherheitsanalysen sowie im Strahlen- und Umweltschutz. Darüber hinaus werden die Bereiche Projekte und Internationales, Zentrale Dienste sowie Projektträger Behördenunterstützung von Köln aus gesteuert. 255 Mitarbeiter arbeiten an diesem Standort.

Der Bereich Reaktorsicherheitsforschung wird vom Betriebsteil in Garching aus gesteuert. Hier werden u. a. Programme und Methoden entwickelt und verifiziert, mit denen Stör- und Unfälle in Kernkraftwerken simuliert werden können. Weitere Arbeitsgebiete sind Reaktorsicherheitsanalysen, Kernbrennstoffverhalten und Internationales Projektmanagement. Die Büros des Standorts befinden sich im Umfeld von Forschungsinstituten auf dem Campus der Technischen Universität (TU) München in unmittelbarer Nachbarschaft zum Forschungsreaktor FRM-2. Am Standort in Garching arbeiten 103 Mitarbeiter.

Im Endlagerforschungszentrum der GRS in Braunschweig sind 60 Mitarbeiter beschäftigt. Dort werden Methoden und Verfahren entwickelt, die zur Führung des

Langzeitsicherheitsnachweises für Endlager von gefährlichen Abfällen in geologischen Formationen erforderlich sind. Der Bereich Endlagersicherheitsforschung ist in die beiden Abteilungen Sicherheitsanalysen und Prozessanalysen gegliedert und verfügt darüber hinaus über ein eigenes [Geowissenschaftliches Labor](#).

Der Arbeitsschwerpunkt im Berliner Betriebsteil liegt in den internationalen Aktivitäten insbesondere für Mittel- und Osteuropa. Hier arbeiten 39 Experten verschiedener Disziplinen in enger Kooperation mit ausländischen atomrechtlichen Behörden und deren Sachverständigenorganisationen mit dem Ziel, die Sicherheit kerntechnischer Anlagen weltweit zu verbessern. Dabei spielt auch das von GRS und IRSN sowie deren Tochterorganisation RISKAUDIT gemeinsam betriebene Technische Büro in Kiew eine wichtige Rolle. Von Berlin aus erfolgt die Leitung des Bereichs Strahlen- und Umweltschutz sowie der Abteilung Internationale Programme.



Standorte Köln, Garching, Braunschweig und Berlin (Fotos: GRS)

Tochterunternehmen

Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH

Das Institut für Sicherheitstechnologie GmbH ist eine 100%-ige Tochtergesellschaft der GRS mit Sitz in Garching und zählt zu den führenden Anbietern von Diagnose- und Sicherheitstechnik. *ISTec* bündelt jahrzehntelange Erfahrungen in Forschung und Entwicklung, Implementierung und Prüfung fortschrittlicher Sicherheitstechnologien.

Darüber hinaus bietet *ISTec* Beratungs- und Prüfungsleistungen bei der Einführung neuer Technologien, umfassenden Service bei Betrieb und Nutzung sowie ganzheitliche eigene technische Lösungen, die sowohl Systeme zur Schadensdiagnose als auch DV-gestützte Überwachungssysteme umfassen.

RISKAUDIT IRSN/GRS International

Die Europäische Wirtschaftliche Interessenvereinigung RISKAUDIT ist eine gemeinsame Gründung der GRS und ihrer französischen Partnerorganisation *IRSN* mit Sitz in Paris.

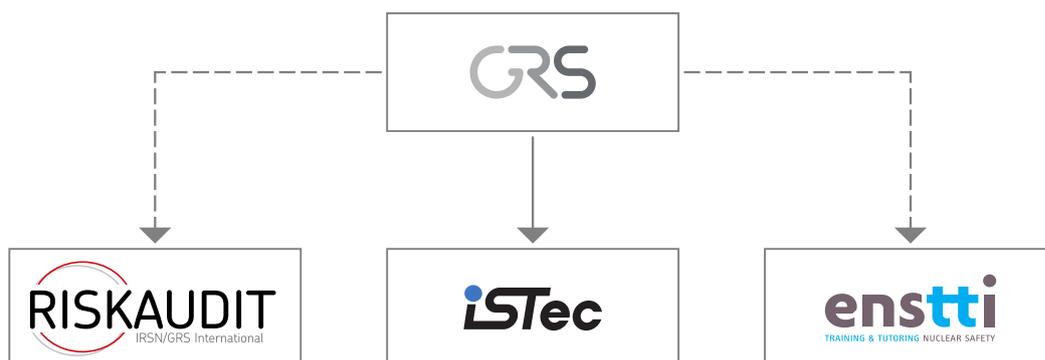
RISKAUDIT ist Koordinierungsstelle für sicherheitsorientierte Projekte in Osteuropa von Vorhaben der Europäischen Union (*EU*) und der Europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (*EBWE*).

RISKAUDIT betreibt für die Kooperation von GRS und *IRSN* mit Osteuropa ein gemeinsames Büro in Kiew. Das Büro in Moskau wurde zum 31. März 2012 geschlossen.

European Nuclear Safety Training and Tutoring Institute (ENSTTI)

Die Europäische Wirtschaftliche Interessenvereinigung *ENSTTI* ist eine Initiative der *ETSON*-Mitgliedsorganisationen *IRSN*, *BelV* (Belgien), *LEI* (Litauen) und der GRS. Am 7. November 2011 ist die GRS dieser Vereinigung mit Sitz in Paris als drittes Mitglied beigetreten.

Das Ziel von *ENSTTI* liegt in der Vermittlung von theoretischem und praktischem Fachwissen im Bereich der Untersuchung und Bewertung kerntechnischer und radiologischer Risiken. Dabei hebt sich das Konzept von *ENSTTI* von bestehenden Angeboten insbesondere durch die Kombination von Training- und Tutoring-Kursen ab. Die Zielgruppe ist insbesondere das Personal junger Behörden aus Staaten, die beabsichtigen, erstmals in die friedliche Nutzung der Kernenergie einzusteigen, dabei jedoch über keine eigene nennenswerte Infrastruktur verfügen.



Unternehmensentwicklung

Politisches und wirtschaftliches Umfeld.

Deutschland wird die hier betriebenen Reaktoren bis spätestens 2022 vollständig vom Netz nehmen. Bis zu diesem Zeitpunkt und auch danach wird die GRS den Auftraggeber Bund (BMU, BMWi, AA) mit dem Spektrum ihrer Kompetenz und ihren Forschungsleistungen versorgen.

Vermögenslage.

Die GRS verfügt zum Bilanzstichtag über eine solide Vermögens- und Kapitalstruktur. Die Bilanzsumme der GRS ist im Berichtsjahr geringfügig auf 50,14 Mio. € gesunken.

Das Eigenkapital hat aufgrund des Jahresüberschusses 2012 um 0,9 Mio. € zugenommen und beläuft sich nun auf 23,8 Mio. €. Die Eigenkapitalquote hat sich aufgrund des gestiegenen Eigenkapitals und eines leicht verminderten Fremdkapitalanteils um 1,8 %-Punkte auf 47,5 % erhöht.

Finanzlage.

Der Finanzmittelfonds im Konzern erhöhte sich um 4.772 T € auf 22.365 T €. Im Einzelabschluss erhöhte sich der Finanzmittelfonds um 4.665 T € auf 22.249 T €.

Ertragslage.

Der Umsatz der GRS ist im Berichtsjahr 2012 um 2,17 Mio. € auf 55,01 Mio. € gesunken (Vorjahr: 57,18 Mio. €). Gründe dafür sind die im Jahr 2011 erbrachten Mehrarbeiten im Zusammenhang mit den Ereignissen in Fukushima und die Arbeiten zum Stresstest der deutschen Kernkraftwerke.

Die Erlöse aus gutachterlicher Forschungs- und Entwicklungstätigkeit (F+E) sanken im Berichtszeitraum um rund 0,33 Mio. € auf 48,13 Mio. €.

Die Gesamtleistung (Umsatzerlöse und Zuschüsse zuzüglich Bestandsveränderung) ist um 2,71 Mio. € bzw. 4,73 % auf 54,55 Mio. € gesunken.



Standorte der GRS in Köln, Garching, Berlin, Braunschweig, Paris und Kiew
(Grafik: GRS)

In den Erlösen der GRS in Höhe von 55,01 Mio. € sind Zuschüsse in Höhe von 29,93 Mio. € enthalten. Das der Personalleistung zugrunde liegende umsatzlörwirksame Gesamtstundenvolumen sank im Geschäftsjahr 2012 um 5.664 Stunden auf 467.584 Stunden, was auf eine Reduzierung der Personalkapazität zurückzuführen ist.

Kostenentwicklung. Der Materialaufwand sank um 2.379 T € auf 5,04 Mio. €. Die Personalaufwendungen stiegen um 917 T € auf 35,95 Mio. €. Gründe dafür sind eine überplanmäßige Tarifierhöhung ab Juli 2012 in Höhe von 2,8 % zzgl. einer Einmalzahlung in Höhe von 650 € pro Mitarbeiter sowie die Kosten für die Auszahlung von Gleitzeitguthaben der Mitarbeiter, die nicht in die Planung aufgenommen werden können. Die steigende Zahl der Mitarbeiter gegenüber der gesunkenen Personalkapazität ist mit der deutlich vermehrten Anzahl

an Teilzeitkräften zu erklären. Die Summe der Abschreibungen stieg um 190 T € auf 1,53 Mio. €. Die sonstigen betrieblichen Aufwendungen stiegen nur geringfügig um 51 T € auf 12,64 Mio. €.

Operatives Ergebnis. Das Ergebnis der gewöhnlichen Geschäftstätigkeit der GRS liegt mit 0,91 Mio. € rund 1,97 Mio. € unter dem Vorjahresniveau von 2,88 Mio. €. Nach Steuern ergibt sich ein Jahresüberschuss von 0,90 Mio. € (Vorjahr: 2,81 Mio. €).

Finanzergebnis. Das Finanzergebnis der GRS ist mit -1.078 T € um 165 T € schlechter als in 2011. Dominiert wird dieses Ergebnis – wie schon im Vorjahr – vor allem durch die Aufzinsung der Pensionsrückstellungen.

Konzernergebnis. Das Betriebsergebnis der Tochtergesellschaft *ISTec* ist negativ. Die *ISTec* weist insgesamt einen Jahresfehlbetrag von 660 T € aus (Jahresüberschuss 2011: 21 T €).

Die Umsatzerlöse der Konzern-Gewinn- und Verlustrechnung sind maßgeblich durch den Umsatz der GRS bestimmt. Für die GRS mit der Tochtergesellschaft *ISTec* ergibt sich ein Konzernumsatz von 58,78 Mio. € in 2012 gegenüber 62,98 Mio. € in 2011. Dies entspricht einem Rückgang von 4,20 Mio. € bzw. 6,7 %.

Die Gewinn- und Verlustrechnung des Konzerns weist ein Ergebnis der gewöhnlichen Geschäftstätigkeit in Höhe von 0,25 Mio. € (Vorjahr: 2,96 Mio. €) aus. Die Ertragsteuern betragen 14 T € und die sonstigen Steuern 3 T €. Damit ergibt sich ein Konzern-Jahresüberschuss in Höhe von 0,24 Mio. € (Vorjahr: 2,86 Mio. €).

Trotz dieses Rückgangs kann die Vermögens-, Finanz- und Ertragslage des GRS-Konzerns für 2012 als gut bezeichnet werden, da vor allem bei der GRS, trotz außerplanmäßigen Belastungen, ein positives Ergebnis erzielt werden konnte.

Weitere Informationen im [Geschäftsbericht](#) der GRS.

Öffentlichkeitsarbeit

In öffentlichen Diskussionen als kompetenter Ansprechpartner bereitzustehen, entspricht dem Selbstverständnis der GRS als gemeinnützige Forschungs- und Sachverständigenorganisation. Für Medien und Öffentlichkeit stellt die GRS eine unabhängige und wissenschaftlich fundierte Informationsquelle in Fragen rund um die Themen nukleare Sicherheit und Entsorgung dar. Pressearbeit, Webauftritt, Veranstaltungen und Informationsmaterialien der GRS fungieren dabei als wichtige Schnittstellen.

Publikationen. Mit der »[Stilllegung kerntechnischer Anlagen](#)« beschäftigt sich eine Broschüre der GRS, die im Februar erscheint. Darin werden die Maßnahmen erläutert, die nach Erteilung der Stilllegungsgenehmigung in einer kerntechnischen Anlage durchgeführt werden.

»[Fukushima Daiichi – Unfallablauf, radiologische Folgen](#)« lautet der Titel einer Informationsbroschüre, die die GRS anlässlich des ersten Jahrestages der Reaktorkatastrophe in Japan herausgibt. Ein Jahr nach dem Unfall ist der Ablauf in seinen wesentlichen Zügen bekannt. Viele Einzelheiten sind aber noch immer nicht eindeutig erklärbar. Die Broschüre gibt einen Überblick über den aktuellen Kenntnisstand. Der Fokus liegt dabei auf dem Ablauf des Unfalls, den radiologischen Folgen auf der Anlage und in der umgebenden Region sowie den Maßnahmen zur Bewältigung der Folgen.



Pressearbeit. Im Februar lädt die Wissenschaftspressekonferenz (WPK) – Deutschlands Verband der Wissenschaftsjournalisten – zu einem Hintergrundgespräch in die GRS ein. Thema ist das Reaktorunglück in Fukushima 2011. Moderiert wird das Gespräch von der freien Wissenschaftsjournalistin Dagmar Röhrlich. Als Gäste berichten neben Sven Stockrahm von Zeit Online, der japanische Umweltjournalist Masahiro Matsuda, der Vorsitzende der Strahlenschutzkommission, Prof. Rolf Michel und der Nuklearmediziner Prof. Christoph Reiners von ihren Erfahrungen. Von GRS-Seite nehmen Pressesprecher Sven Dokter und Dr. Michael Maqua in seiner Funktion als *INES* (International Nuclear and Radiological Event Scale)-Officer teil.



Begrüßten zur WPK am GRS Standort Köln: Sven Dokter (GRS), Sven Stockrahm (Zeit Online) Dagmar Röhrlich (WPK) und Masahiro Matsuda (Journalist) v. li. (Foto: GRS)

Anlässlich des ersten Jahrestages des Reaktorunfalls in Fukushima wird die GRS von zahlreichen überregionalen Tageszeitungen und größeren Online-Medien angefragt. Die Auskunftstiefe reicht dabei von Hintergrundinformationen bis hin zu Wortlautinterviews.

Im September finden im Endlagerforschungszentrum in Braunschweig Dreharbeiten für die ARD-Reihe »W wie Wissen« statt. Die Aufnahmen fließen in eine Sendung über die Entsorgung toxischer Abfälle ein.

Veranstaltungen. Die GRS nimmt 2012 wieder an zahlreichen Veranstaltungen zur Information der Öffentlichkeit teil. Neben den bereits etablierten Formaten wie dem Uniinfotag in Köln, dem Tag der offenen Tür in Garching und dem Girls' Day in Braunschweig, beteiligt sich die GRS am 3. Oktober zum ersten Mal am Maus Türöffnertag, den der WDR initiiert. Bundesweit öffnen Institutionen an diesem Tag ihre Türen und bieten speziell Kindern einen Blick hinter die Kulissen. Die GRS gewährt 60 »Nachwuchswissenschaftlern« spannende Einblicke in die Arbeit im Endlagerforschungszentrum in Braunschweig, wo sich alles um giftige und radioaktive Abfälle dreht. An drei Stationen geht es um die The-

men Radioaktivität, Löslichkeit von Salzen und mechanische Stabilität eines Endlagers im Untergrund.

Für die Eltern besteht an diesem Tag die Möglichkeit, ihre Fragen zur Thematik Endlagerung direkt an die Fachkollegen des Endlagerforschungszentrums zu stellen – ein Angebot, das regen Zuspruch findet.

Soziale Medien. Nach den ersten erfolgreichen Schritten in den sozialen Medien weitet die GRS ihr Engagement auf Facebook, Twitter und Youtube 2012 aus. Ein abteilungsübergreifendes Social Media Team wird gegründet, das für das Monitoring der Kanäle verantwortlich ist und fast täglich Posts, Tweets und Videos generiert. Neu hinzu kommt der Kanal Google+, auf dem wie bei den anderen Kanälen bereits umgesetzt, ein deutscher und ein internationaler Unternehmensauftritt eingerichtet wird.

Insbesondere während des Hurrikans Sandy, der im Oktober und November 2012 in den USA für Probleme an einigen Kernkraftwerken sorgt, werden die Sozialen Medien zur zeitnahen Information der Öffentlichkeit genutzt.



Twitter Stream der GRS während des Hurrikans Sandy (Screenshot: GRS)



Das Betreuungsteam am Maus Türöffnertag der GRS am Standort Braunschweig (Foto: GRS)

Reaktorsicherheit

➔ Im Arbeitsfeld Reaktorsicherheit tragen wir mit unserer Forschung dazu bei, den Stand von Wissenschaft und Technik der kerntechnischen Sicherheit weiterzuentwickeln. Als Sachverständigenorganisation des Bundes befassen wir uns im Auftrag der Bundesregierung mit unterschiedlichsten Fragestellungen im Zusammenhang mit der Sicherheit des Betriebs und der Stilllegung kerntechnischer Anlagen.

Der Arbeitsschwerpunkt in der Reaktorsicherheitsforschung liegt auf der Entwicklung und Validierung von Simulationsprogrammen. Mithilfe dieser sogenannten Codes lässt sich das Verhalten eines Kernkraftwerks oder einzelner Anlagenbereiche unter unterschiedlichsten Bedingungen abbilden. Die Szenarien, die dabei unterstellt werden können, erstrecken sich vom Normalbetrieb bis zum schweren Unfall mit Kernschmelze. Anwendung finden diese Programme in den Reaktorsicherheitsanalysen der GRS. Der Erfahrungsrückfluss aus der Anwendung in konkreten Untersuchungen bietet wiederum Impulse für die kontinuierliche Weiterentwicklung der Programme. Darüber hinaus kommen eine Reihe der von der GRS entwickelten Codes auch in mehr als 50 Behörden und Forschungsinstitutionen im Ausland zum Einsatz.

Vorrangiges Ziel der Reaktorsicherheitsanalysen der GRS ist die sachverständige Unterstützung der durch das BMU wahrgenommenen Bundesaufsicht. Die Aufgaben reichen hier von der Erstellung von Gutachten im Rahmen aufsichtlicher Verfahren über die Untersuchung generischer sicherheitstechnischer Fragestellungen bis hin zur Unterstützung bei der Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerks und der Mitarbeit in nationalen und internationalen Fachgremien. Die fachliche Grundlage hierfür bilden vor allem Sicherheitsanalysen und die Entwicklung eigener deterministischer und probabilistischer Methoden zu ihrer Erstellung. Ein weiterer Schwerpunkt der Reaktorsicherheitsanalysen liegt auf der Auswertung von Erfahrungen aus dem Betrieb von Kernkraftwerken im In- und Ausland: Ergibt die Analyse eines Ereignisses neue Erkenntnisse, die potenziell auf deutsche Kernkraftwerke übertragbar sind, erstellt die GRS sogenannte Weiterleitungsnachrichten mit Empfehlungen für sicherheitserhöhende Maßnahmen.

Zu den Aufgaben der GRS im Arbeitsfeld Reaktorsicherheit gehört schließlich auch die fachliche Unterstützung der Notfallorganisation des BMU bei Stör- und Unfällen in kerntechnischen Einrichtungen im In- und Ausland. Hierzu unterhält die GRS an ihrem Kölner Standort ein eigenes Notfallzentrum. Außerdem stellt die GRS im Auftrag des BMU den sogenannten »INES-Officer« für Deutschland. Er ist unter anderem für die Überprüfung der von den Betreibern vorzulegenden Ersteinstufung von Ereignissen auf der internationalen Ereignis-Skala INES zuständig.



(Foto: © iStockphoto.com / RelaxFoto.de)

Stellungnahmen, Weiterleitungsnachrichten, Untersuchungen

Im Auftrag des *BMU* wertet die GRS Ereignisse in deutschen und ausländischen Kernkraftwerken und deutschen kerntechnischen Anlagen aus. Bei einigen Ereignissen ergibt die vertiefte sicherheitstechnische Betrachtung eine Relevanz für weitere Kernkraftwerke oder kerntechnische Anlagen. In diesem Fall fasst die GRS zum Ereignis eine fachliche Stellungnahme, die sogenannte Weiterleitungsnachricht (*WLN*), die auch Empfehlungen für weitere Maßnahmen enthält.

Über die Auswertung von Betriebserfahrungen in Kernkraftwerken und kerntechnischen Anlagen hinaus beobachtet die GRS – soweit möglich – auch die Erfahrungen aus der nicht-nuklearen Industrie, wenn sie für Kernkraftwerke relevant sein können.

WLN zu den Auswirkungen der Erdbeben an den japanischen Kernkraftwerksstandorten. Die GRS hat im Auftrag des *BMU* eine *WLN* zu den Auswirkungen der Erdbeben an den japanischen Kernkraftwerksstandorten Fukushima Daiichi und Daini (11. März 2011) bzw. Kashiwazaki-Kariwa (16. Juli 2007) verfasst.

Die *WLN* wurde am 15.02.2012 veröffentlicht und enthält neben den wesentlichen Aspekten des Unfallablaufs und den Auswirkungen der Erdbeben auf die Standorte auch eine Untersuchung der Übertragbarkeit der Ereignisse auf deutsche Anlagen. Die daraus resultierenden 22 Empfehlungen für deutsche Kernkraftwerke (*KKW*) beziehen sich auf Aspekte der

- /// elektrischen Energieversorgung,
- /// der Kühlwasserversorgung,
- /// des Notfallschutzes,
- /// des Brandschutzes und
- /// der Erdbebenauslegung.



Notstromdiesel von Block 1 des Kernkraftwerks Fukushima Daiichi nach dem Erdbeben und dem Tsunami am 11. März 2011 (Foto: TEPCO)

Die *WLN* mit den ausführlichen Angaben zu den Empfehlungen ist auf www.grs.de abrufbar.

Auf Grundlage der von der GRS verfassten *WLN* und den Empfehlungen der Reaktorsicherheitskommission (*RSK*) wurde ein sogenannter nationaler Aktionsplan erstellt, den das *BMU* zum Jahresende bei der European Nuclear Safety Regulator Group (*ENSREG*) eingereicht hat.

WLN zur Abschaltung der rotierenden Umformer im KKW Grohnde. Bei einem betrieblichen Schaltvorgang sprach im KKW Grohnde die Drehzahlüberwachung der rotierenden Umformer an, was schließlich zu deren Abschaltung führte. Ursache war ein Erdschluss auf der Spannungspegel-Ebene, der sich aufgrund einer redundanzübergreifenden Verbindung in der Spannungspegel-Ebene auf alle Redundanzen auswirkte.

In der dazu verfassten *WLN* empfahl die GRS unter anderem, den Einsatz und die Energieversorgung von Tachogeneratoren und deren Abschaltgrenzwerte bei Spannungsschwankungen zu untersuchen. Die Generatoren werden in Grohnde zur Drehzahlerfassung genutzt.

Ebenso enthält die *WLN* die Empfehlung zu überprüfen, ob ein einzelner Erdschluss in einem ungeerdeten Gleichspannungsnetz zur Abschaltung von Verbrauchern führen kann. Gegebenenfalls sollten hierfür geeignete Maßnahmen ergriffen werden.

WLN zu gebrochenen Niederhaltefedern im KKW Brokdorf. Im KKW Brokdorf wurden bei Kontrollen an den Brennelementen 118 Brüche an den Niederhaltefedern entdeckt. Die Brüche traten auch bei zwei Federdraht-Chargen auf, die im Kernkraftwerk Grafenrheinfeld eingesetzt waren. Die darauf folgenden Untersuchungen in Grafenrheinfeld ergaben Brüche an Federn bei insgesamt 14 Brennelementen. In beiden Kraftwerken wurden die Federn daraufhin gegen solche aus anderen Chargen ausgetauscht.

Die Untersuchungen der gebrochenen Federn zeigten, dass zwar die Materialien der betroffenen Chargen den Spezifikationen entsprachen, die Federn aber bis an ihre Grenzlast belastet waren. Die bei der Fertigung entstandene Oberflächenrauigkeiten führten zu Anrissen und schließlich zum Bruch.

In Ihrer *WLN* empfahl die GRS unter anderem, die Anforderungen an Auslegung, Konstruktion und Fertigung der Brennelement-Niederhaltefedern zu ändern, um vergleichbare Schäden in Zukunft zu vermeiden.

Überprüfung zu fehlender Siphon-Öffnung in französischen KKW. Im Rahmen der Sicherheitsüberprüfungen nach dem Reaktorunfall in Fukushima wurde im Kernkraftwerk Cattenom festgestellt, dass in den Kühlleitungen der Brennelementlagerbecken keine Siphon-Öffnungen angebracht waren.

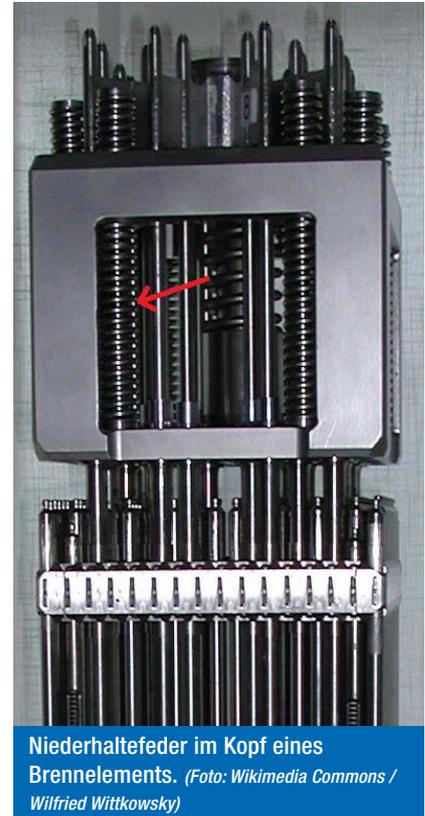
Diese sind ca. 30 cm unterhalb des Normalfüllstandes vorgesehen (siehe Abbildung)

und verhindern im Falle einer fehlerhaft eingestellten Armatur oder einer Beschädigung der Leitung, dass das Lagerbecken durch einen sogenannten »Siphon-Effekt« leergesaugt wird. Fehlt diese Öffnung, besteht die Gefahr, dass der Füllstand im Brennelementlagerbecken weiter sinkt und die Brennelemente freigelegt und dadurch beschädigt werden können.

In deutschen KKW enden die Kühlwasserleitungen oberhalb der Brennelemente, so dass ein Leersaugen des Brennelementlagerbeckens über die Kühlleitung folglich nicht möglich ist. Allerdings verfügen einige Anlagen z. B. über Reinigungs- und Entleerungsleitungen im unteren Bereich des Brennelementlagerbeckens. Diese Leitungen sind zwar verschlossen und gesichert, aber die GRS hielt dennoch eine Überprüfung des dadurch möglichen Gefährdungspotentials für erforderlich und verfasste eine entsprechende *WLN*.

Untersuchung zu Schäden an Brennelementenzentrierstiften in deutschen KKW. In der Vergangenheit traten in deutschen Anlagen vereinzelt Schäden an Brennelementenzentrierstiften (*BEZ*) auf, deren Entstehung auf unterschiedliche Ursachen zurückgeführt wurde.

Die sicherheitstechnische Betrachtung der GRS dazu hat ergeben, dass der Bruch einzelner *BEZ* keine Auswirkungen auf die Kühlbarkeit und Abschaltbarkeit des Reaktorkerns hat. Abgebrochene *BEZ* lassen sich bei der Sichtprüfung während des Brennelementwechsels erkennen und können ausgetauscht werden.



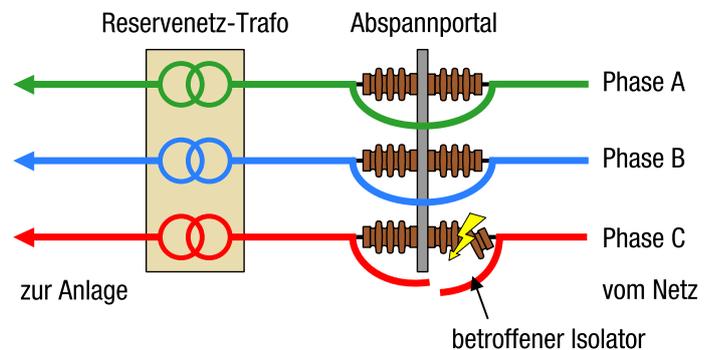
Bewertung der fehlerhaften Schutzeinrichtungen im KKW Byron Station. Im Januar 2012 kam es in der US-amerikanischen Anlage Byron zum Bruch eines Isolators auf der Oberspannungsseite eines Eigenbedarfstransformators, was zum Ausfall der betroffenen Phase und somit zu einem sogenannten »asymmetrischen Zustand« im elektrischen Eigenbedarf der Anlage führte. Ein solcher Zustand liegt vor, wenn die Effektivwerte der Spannung in den drei Phasen eines Drehstromsystems ungleich groß sind.

Dieser asymmetrische Zustand hatte zur Folge, dass mehrere sicherheitstechnisch wichtige Verbraucher (u. a. Nebenkühlwasserpumpen) durch Ansprechen von Überstromsicherungen ausfielen, ohne dass die Ursache hierfür vom Reaktorschutzsystem erkannt wurde. Eine Stabilisierung des Anlagenzustandes war nur mittels Handmaßnahmen möglich.

Die Auswertung des Ereignisses in Byron sowie vergleichbare Fälle aus der internationalen Betriebserfahrung durch die GRS zeigt, dass der beobachtete Fehlermechanismus grundsätzlich auch auf deutsche Anlagen übertragbar ist und auch in diesen nicht unter allen Randbedingungen von den vorhandenen automatischen Schutzeinrichtungen erkannt und beherrscht wird.

Die GRS wird zu der Thematik eine Weiterleitungsnachricht (WLN) erstellen sowie sich an der nationalen (z. B. in der RSK) wie internationalen Debatte zur Entwicklung von Abhilfemaßnahmen beteiligen.

Untersuchung zu Materialfehlern in den Reaktordruckbehältern belgischer KKW. Im Juni 2012 wurde bei Ultraschallprüfungen eine Großzahl von Anzeigen in den oberen und unteren Mantelringen der Reaktordruckbehälter (RDB) der belgischen Anlagen Doel-3 und Tihange-2 entdeckt. Die Ursache für die Anzeigen konnten im weiteren Verlauf der



Schematische Darstellung eines asymmetrischen Ausfalls in der Netzanbindung (Abbildung: GRS)

Untersuchungen auf Vorgänge während des Herstellungsprozesses zurückgeführt werden.

Die GRS untersuchte die mögliche Übertragbarkeit auf in Betrieb befindliche deutsche Anlagen. Dabei standen der Fertigungsprozess mit den Wärmebehandlungen, die Auffindbarkeit derartiger Materialfehler durch die bei der Herstellung eingesetzte Ultraschalltechnik sowie die Charakterisierung der gefundenen Materialfehler im Vordergrund.

Für die laufenden deutschen Anlagen sind nach bisherigen Kenntnissen keine entsprechenden Befunde für die RDB bekannt.

Einschätzung der Auswirkungen des Wirbelsturms Sandy auf amerikanische KKW. Am Abend des 29. Oktober 2012 erreichte der Hurrikan Sandy die Ostküste der USA zwischen Washington und New York. Dabei wurden Windgeschwindigkeiten zwischen 65-90 mph (105-140 km/h) gemessen.

Die amerikanische Aufsichtsbehörde U.S. NRC traf Vorsichtsmaßnahmen und informierte darüber, dass neun Kernkraftwerkstandorte möglicherweise im Durchzugsgebiet des Hurrikans liegen würden. Vor Eintreffen des Sturms sendete sie deshalb jeweils zwei »U.S. NRC Resident Inspectors« in die betroffenen Anlagen.

Im weiteren Verlauf des Tages kam es durch den Tropensturm an vier Kraftwerksstandorten zu einer *RESA*: Oyster Creek, Indian Point und Nine Mile Point wurden automatisch abgeschaltet, Salem 1 wurde wegen des hohen Wasserstandes und dem damit einhergehenden Anteil an Treibgut manuell abgeschaltet. Das Treibgut hätte an den Einlaufbauwerken

zu Beeinträchtigungen der Filter- und Rechenanlagen und damit der Nebenkühlwasserversorgung führen können.

Die GRS verfolgte die Entwicklungen und informierte das *BMU* in Form einer Lagerdarstellung.

Übersicht aller 2012 von der GRS verfassten Weiterleitungsnachrichten

Einsatz nicht spezifikationsgerechter Feinsicherungen auf leittechnischen Baugruppen in deutschen Kernkraftwerken

Auswirkungen des Tohoku-Erdbebens an den japanischen Kernkraftwerksstandorten Fukushima Daiichi (1) und Daini (2) am 11.03.2011 und des Niigataken Chuetsu-Oki-Erdbebens am japanischen Kernkraftwerksstandort Kashiwazaki-Kariwa am 16.07.2007

Regenwassereintrag in das Kernkraftwerk Brunsbüttel am 04.09.2011

Bruch von Niederhaltefedern von Brennelementen mit Stahlführungsrohren in den Kernkraftwerken Brokdorf und Grafenrheinfeld

Befunde an Messwerken der Füllstandssonden des Typs AVL200 im Kernkraftwerk Grohnde

Schäden an Schiebern zur saugseitigen Absperrung der nuklearen Nebenkühlwasserpumpen im Kernkraftwerk Unterweser

Arbeiten zum Reaktorunfall in Fukushima

Auch im Jahr nach Fukushima beschäftigten die Auswirkungen des Reaktorunglücks die GRS in mehrfacher Hinsicht.

Auswertung des Unfallverlaufs

Ein Teil der Arbeiten bezieht sich dabei auf die vom *BMU* beauftragte Auswertung des Unfallverlaufs, im Zuge dessen sich die GRS auch international an verschiedensten Aktivitäten und Programmen beteiligt, darunter die Zusammenarbeit mit dem europäischen *TSO* Netzwerk *ETSON*, der *U.S. NRC*, der *EURATOM*-Organisation und das *OECD-NEA* Projekt »Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station«. Im letztgenannten Projekt simuliert die GRS als eine von weltweit sieben Forschungsinstitutionen den Reaktorunfall in Fukushima mit geeigneten Rechenprogrammen. Jede Institution setzt dazu ihren eigenen Simulationsmodelle und Rechencodes ein. Die Gegenüberstellung von Analyseergebnissen und realen Daten soll einen Beitrag dazu leisten, bislang offene Fragen zum Unfallablauf und zum Zustand der Reaktorkerne zu beantworten sowie Unzulänglichkeiten in den verwendeten Programmen bzw. Modellen zu identifizieren.

Weiterleitungsnachricht. Ergänzend zu ihren Forschungsarbeiten hat die GRS im Auftrag des *BMU* Anfang 2012 eine Weiterleitungsnachricht zu den Auswirkungen der Erdbeben an den japanischen Kernkraftwerksstandorten Fukushima Daiichi und Daini sowie Kashiwazaki-Kariwa erstellt, die 22 Empfehlungen für deutsche Anlagen enthält. Die Empfehlungen beziehen sich auf die Punkte:

- ⚡ elektrische Energieversorgung: u. a.
 - die Sicherstellung der Stromversorgung bei einem sogenannten Station-Blackout für mindestens 10 Stunden
 - ein weiteres, mobiles Notstromaggregat



Blick von Süden auf die Blöcke 2-4 am Standort Fukushima Daiichi, Aufnahme vom 18. Juni 2012 (Foto: TEPCO)

- ⚡ Kühlwasserversorgung: u. a.
 - eine eigenständige Nebenkühlwasserversorgung unabhängig von der auslegungsgemäß vorhandenen Kühlwasserentnahme
 - eine mobile Pumpe und Anschlüsse an Redundanzen des gesicherten Zwischenkühlkreises zur Kern- und Brennelementlagerbeckenkühlung
 - bei Druckwasserreaktoren die Möglichkeit einer unabhängigen Bespeisung des Reaktordruckbehälters mit boriiertem Wasser
- ⚡ Notfallschutzaspekte: u. a.
 - Maßnahmen am System zur gefilterten Druckentlastung des Sicherheitsbehälters
 - Überprüfung, ob Wasserstoffansammlungen außerhalb des Sicherheitsbehälters möglich sind
 - Einrichtungen als Notfallmaßnahme zur Kühlung der Brennelementlagerbecken
- ⚡ Brandschutzaspekte: u. a.
 - Überprüfung des Konzepts zur Brandbekämpfung
 - Erdbebenauslegung von Feuerlöscheinrichtungen
- ⚡ Erdbebenauslegung: u. a.
 - Überprüfung des Bemessungserdbebens und ggf. der Nachweise zur Erdbebenauslegung

Eigenforschungsvorhaben

Einen weiteren wesentlichen Teil der Arbeiten der GRS zu Fukushima, bilden die durch das *BMW* unterstützten Eigenforschungsvorhaben. Hier werden unter anderem Phänomene, die im Unfallverlauf von Fukushima eine Rolle gespielt haben, für andere Anlagen berechnet und bestehende Simulationscodes mithilfe der Daten aus dem Unfallhergang überarbeitet.

Berechnung freigesetzter Spaltprodukte aus dem Reaktorkern. Die Weiterentwicklung einzelner Programmmodule des Simulationscodes *ATHLET-CD* ermöglichte es den Wissenschaftlern, die im Reaktorkern freigesetzten Spaltprodukte und deren Transport im Primärkreislauf der Anlage zu berechnen. Dadurch konnten sowohl die Eingangsdaten zur Simulation der Vorgänge im Containment (Sicherheitsbehälter) zur Verfügung gestellt werden, als auch die Daten, die zur Berechnung einer möglichen Freisetzung von Radionukliden in die Umgebung notwendig sind.

Untersuchung der Wasserstoffverteilung im Reaktorgebäude 3. In einem Eigenforschungsvorhaben analysiert die GRS detailliert die Wasserstoffverteilung in Block 3 der Anlage Fukushima Daiichi. Auf diese Weise soll nachvollzogen werden, wie es zu den Explosionen in den Blöcken 3 und 4 kommen konnte.

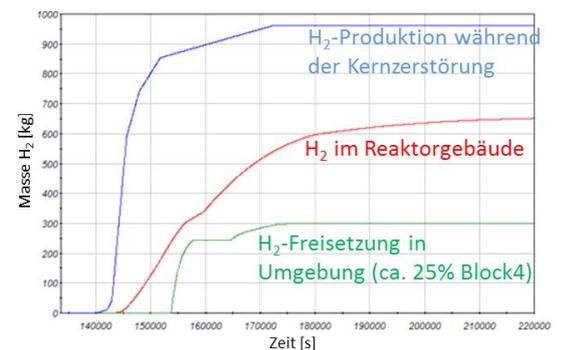
Nach derzeitigem Kenntnisstand war es durch den im Verlauf der Kernschmelze in Block 3 entstandenen Wasserstoff zu einer Explosion gekommen. Untersucht wird derzeit die These, dass ein Teil dieses Wasserstoffs über das Lüftungssystem, das zum Venting in Block 3 genutzt wurde, in das Reaktorgebäude von Block 4 gelangte und die dort registrierte Explosion verursachte. Die Explosionen hatten

zu schweren Schäden an den Gebäudestrukturen geführt und damit die Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umwelt begünstigt.

Auf Basis ihrer Analysen geht die japanische Sachverständigenorganisation *JNES* davon aus, dass ca. 1.000 kg Wasserstoff aus dem Kern freigesetzt wurden, der sich homogen innerhalb des Gebäudes verteilt hat. Aus diesen Parametern lassen sich die späteren Schäden an den Gebäudestrukturen ableiten. Ausgehend von diesen Ergebnissen beschäftigt sich die GRS mit der Frage, ob bei einer geringeren Menge an Wasserstoff auch eine ungleichmäßige Verteilung die entzündliche Mischung hätte hervorrufen können. Die Analysen führt die GRS mit ihrem eigenentwickelten Simulationscode *COCOSYS* durch.

Erste Ergebnisse zeigen unter anderem, dass die Wasserstoffkonzentration im oberen Teil des Reaktorgebäudes von Block 3 ausgereicht hat, um eine Explosion hervorzurufen. Untersuchungen zur Wasserstoffkonzentration in Block 4 haben gezeigt, dass allein die im Brennelementlagerbecken produzierte Menge an Wasserstoff nicht zu einer Explosion geführt haben kann.

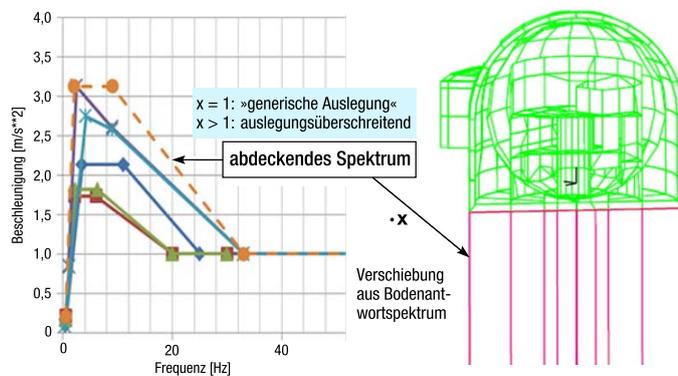
In weiteren Parameterstudien wird die GRS unter anderem die Wasserstoffentstehung während des Abkühlvorgangs, die Verteilung der Kernschmelze und die Schmelze-Beton-Wechselwirkung näher untersuchen. Dabei werden gekoppelte Codeprogramme wie *ATHLET-CD/COCOSYS* eingesetzt.



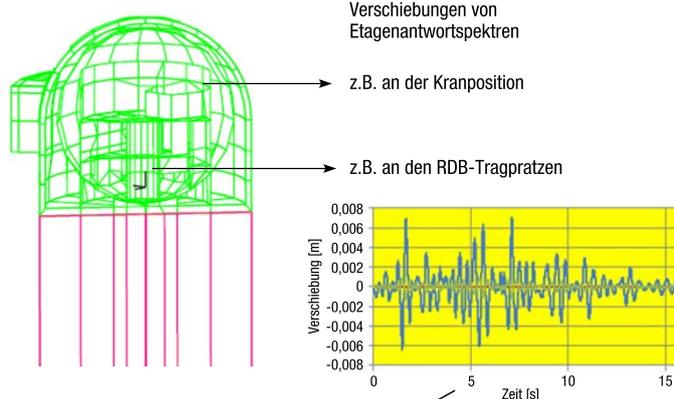
Ergebnisse der Berechnungen zur Wasserstoffverteilung und Freisetzung für Block 3
(Grafik: GRS)

Verhalten von Komponenten und Strukturen bei auslegungsüberschreitenden Erdbeben. Ausgehend von einem postulierten auslegungsüberschreitenden Erdbeben und einer Vielzahl von Nachbeben, untersucht die GRS mögliche Auswirkungen auf das Reaktorgebäude und Rohrleitungssysteme eines Druckwasserreaktors vom Typ Konvoi (siehe Abbildungen). Dabei werden aus einem Bodenantwortspektrum (mit Überhöhungsfaktor X) mit einem 3D-Modell des Reaktorgebäudes zunächst Etagenantwortspektrale berechnet, die als Belastungen in Form von Verschiebungen an 10 Positionen auf das 3D-Modell der Komponenten einer Kühlkreislaufschleife übertragen werden. Für das abdeckende Spektrum ($X=1$) zeigen die Komponenten keine nennenswerte Plastifizierung. Die Untersuchungen zu auslegungsüberschreitenden Belastungen ($X>1$), insbesondere die Quantifizierung von Sicherheitsmargen, sind noch nicht abgeschlossen. Dabei werden auch die Wechselwirkungen zwischen Untergrund und Gebäudestruktur näher untersucht.

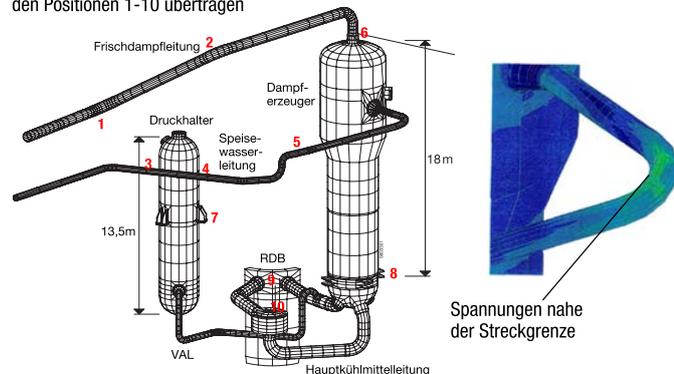
Untersuchung schwerer Unfälle in Brennelementlagerbecken. Die GRS untersucht basierend auf den Ereignissen in Fukushima schwere Unfälle in Brennelementlagerbecken von Siedewasser- und Druckwasserreaktoren mithilfe der Analysetools *ASTEC* und *MELCOR*. Betrachtet werden Phänomene von teilweise freiliegenden Brennelementen, Hüllrohroxidation, Zirkoniumbrand, Verlagerung der Schmelze und die Freisetzung von Spaltprodukten. Erste Untersuchungsergebnisse haben unter anderem gezeigt, dass eine Oxidation etwa 50 Stunden nach dem Ausfall der Stromversorgung beginnt und etwa die Hälfte des entstandenen Wasserstoffs über die Rekombinatoren abgebaut werden kann. Dabei verhindert die hohe Wasserdampfkonzentration, dass es zu einer Wasserstoffexplosion und einem Zirkoniumbrand kommt.



Analysemodell eines Reaktorgebäudes (Type Konvoi) mit modelliertem Bodenbereich



Belastungen (Verschiebungen) an den Positionen 1-10 übertragen



Vorgehensweise zur Untersuchung von Auswirkungen eines auslegungsüberschreitenden Erdbebens auf das Reaktorgebäude und eine Kühlkreislaufschleife eines Kernkraftwerks vom Typ Konvoi (Abbildung: GRS)

Weiterentwicklung des kerntechnischen Regelwerks

Nach fast zehnjähriger Arbeit wurde die Entwicklung des neuen kerntechnischen Regelwerks im November 2012 erfolgreich abgeschlossen. Der Länderausschuss für Atomkernenergie billigte in einer Sondersitzung den vom Bundesumweltministerium (BMU) und den Ländern gemeinsam vorgelegten Entwurf der »[Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke](#)«

An den Arbeiten waren zeitweise bis zu 40 Sachverständige der GRS und mehrere Unterauftragnehmer beteiligt. Hinzu kamen Organisationen wie die Länderbehörden, die Reaktor-Sicherheitskommission, die Strahlenschutzkommission, Sachverständigenorganisationen, Betreiber und Hersteller.

Inhalt der Sicherheitsanforderungen. Die neuen Sicherheitsanforderungen enthalten grundsätzliche und übergeordnete sicherheitstechnische Anforderungen im Rahmen des untergesetzlichen Regelwerks. Zudem konkretisieren sie die nach dem Atomgesetz (AtG) vorgeschriebene Vorsorge auf dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik. Damit dienen sie als kerntechnische Referenzmaßstäbe in Genehmigungsverfahren, bei Prüfungen durch Aufsichtsbehörden und bei Sicherheitsüberprüfungen nach dem AtG.

Neben den eigentlichen Sicherheitsanforderungen (Hauptteil) enthält das Dokument fünf Anhänge zu den Themen:

- a) Begriffsbestimmungen,
- b) zu berücksichtigende Ereignisse,
- c) Anforderungen an den Schutz gegen Einwirkungen von innen und außen sowie aus Notstandsfällen,
- d) Grundsätze für die Anwendung des Einzelfehlerkriteriums und für die Instandhaltung und



(Foto: wikimedia commons / NRC)

- e) Anforderungen an die Nachweisführung und die Dokumentation.

Transparenz. Ein wesentlicher Aspekt des Prozesses war, dass alle Textfassungen, Entwürfe und Revisionen zu den Sicherheitsanforderungen der interessierten Öffentlichkeit auf einer eigens eingerichteten Webpräsenz zugänglich gemacht wurden. Insgesamt wurden etwa 9.000 Kommentare bearbeitet und sechs Revisionen der »Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke« erstellt.

Orientierung an IAEA und WENRA. Das modernisierte kerntechnische Regelwerk stimmt – auf dem Gebiet der Anforderungen an die Gewährleistung der nuklearen Sicherheit – mit den aktuellen Empfehlungen der Internationalen Atomenergie Organisation (IAEO) sowie der Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) überein.

Das Ergebnis und die einzelnen Revisionschritte zu den »Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke« sind im Portal zum kerntechnischen Regelwerk dokumentiert.

Weiterentwicklung von Simulationsprogrammen in der Reaktorsicherheit

Die GRS kann alle für den Betrieb, für Transienten sowie für Stör- und Unfälle in Kernkraftwerken relevanten Prozesse mithilfe von sogenannten Simulationscodes berechnen und simulieren. Diese Codes werden von der GRS selbst oder gemeinsam mit nationalen sowie internationalen Kooperationspartnern entwickelt und anhand zahlreicher Experimente validiert. Mit diesem breiten Aufgabenspektrum nimmt die GRS auf dem Gebiet der Simulationscodes international eine führende Position ein.

Als Ergebnis gemeinnütziger Forschungsarbeit werden die Codes zahlreichen Institutionen, darunter Hochschulen, Behörden oder Technische Sicherheitsorganisationen, unentgeltlich zur Verfügung gestellt. Weltweit nutzen mehr als 80 Forschungsorganisationen und Aufsichtsbehörden GRS-Codes bei ihrer Arbeit unter anderem in den USA, China, Russland und dem Vereinigten Königreich.

Die GRS entwickelt und validiert die Codes auf Basis von Erfahrungswerten und dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik ständig weiter. Neben diesen eigenentwickelten Codes wendet die GRS auch kommerzielle Simulationscodes (bspw. *ADINA*, *CFX*) auf ausgewählte Fragestellungen an, validiert diese und entwickelt sie weiter.

Im Rahmen von *BMW*-geförderten Projekten wurden 2012 die Simulationsprogramme *ATHLET* und *ATHLET-CD* weiterentwickelt und validiert. Mit *ATHLET* werden thermohydraulische Sicherheitsanalysen für Leichtwasserreaktoren durchgeführt. *ATHLET-CD* ist eine Analysesoftware zu Unfällen mit Kernzerstörung und Spaltprodukten, die bei Leichtwasserreaktoren eingesetzt wird.

ATHLET-CD. Bei der Weiterentwicklung der Rechencodes zur Modellierung des Kühlkreislaufs und von Kernschmelzvorgängen steht seit 2012 mit der aktuellsten *ATHLET-CD*-Version ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem Szenarien für schwere Störfälle ausgehend vom auslösenden Ereignis bis zum Versagen des Reaktordruckbehälters durchgängig gerechnet werden können.

Im Rahmen des *OECD/NEA SANDIA Fuel Projects (SFP)* sollten thermohydraulische Daten für den Fall eines vollständigen Kühlmittelverlustes in Brennelementlagerbecken bereitgestellt sowie Rechenprogramme validiert werden. Bei einem im Jahr 2012 durchgeführten Großversuch in den Sandia National Laboratories (USA) wurde das Verhalten von fünf kreuzförmig angeordneten Brennelementen mit jeweils 17x17 Brennstabsimulatoren mit Zircaloy-Hüllrohren untersucht. Das zentrale Brennelement wurde während des Versuchs aufgeheizt, bis es sich entzündete und die Hüllrohre bis zur vollständigen Zerstörung verbrannten.

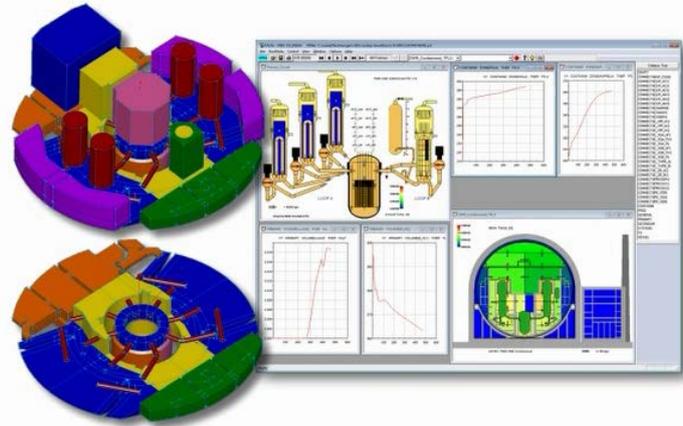
Gemeinsam mit Organisationen aus England, Frankreich, Italien, Japan, Korea, Norwegen, Schweden, der Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn und den USA hat die GRS in einem weiteren Schritt das Verhalten der Brennelemente mit ihren Simulationsprogrammen nachgerechnet und mit den Ergebnissen des Experiments verglichen. Ein im Rahmen des *SFP* durchgeführtes Benchmark, das von der GRS koordiniert wurde, wurde herangezogen, um die Leistungsfähigkeit von *ATHLET-CD* im Vergleich mit anderen Programmen bewerten zu können. Dabei wurde unter anderem mit *ATHLET-CD* der Verlauf der Temperatureskalation, der im Experiment zur Entzündung führt, sowohl hinsichtlich des Zeitpunkts als auch der Höhe im Rahmen der Messgenauigkeit simuliert.

ATHLET. Der Schwerpunkt der Arbeiten bei *ATHLET* lag auf einer detaillierteren Darstellung der Thermohydraulik im Kühlkreislauf bei Transienten und Störfällen. Für eine verbesserte Abbildung mehrdimensionaler Strömungsphänomene im Reaktordruckbehälter wurden die bisher in *ATHLET* verfügbaren eindimensionalen Erhaltungsgleichungen um eine zweidimensionale Formulierung der Impulsgleichung erweitert. Die modulare Programmstruktur gewährleistet hierbei die Anwendbarkeit der mehrdimensionalen, fluiddynamischen Gleichungen in Kombination mit allen in *ATHLET* vorhandenen Modellen zur Beschreibung der Zweiphasenströmung, des Wärmeübergangs und der Neutronenphysik.

Die erweiterten Modellgleichungen wurden anhand von Experimenten überprüft. Hierzu wurden sowohl Versuche im Reaktormaßstab wie auch skalierte Experimente herangezogen. Ferner wurden Modelle zur Simulation alternativer Arbeitsmedien wie Helium, verschiedene Flüssigmetalle und superkritisches Wasser in *ATHLET* implementiert. Auf diese Weise wird das Anwendungsspektrum von *ATHLET* auf neue Reaktorkonzepte u. a. der Generation IV erheblich erweitert.

Nach der Qualitätssicherung und Dokumentation wurde im Oktober 2012 die neue Programmversion »*ATHLET* 3.0 Cycle A« freigegeben.

COCOSYS und ASTEC. 2012 konnte die GRS ihr Forschungsvorhaben »Gezielte Validierung von *COCOSYS* und *ASTEC* sowie Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse zum Iodverhalten« abschließen. Erstmals wurde eine Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse für das Iodmodul *AIM* (Advanced Iodine Modul) in *COCOSYS* durchgeführt.



Mit *COCOSYS* (Containment Code System) lassen sich umfangreiche Simulationen von Stör- und Unfallabläufen in Containments von Leichtwasserreaktoren durchführen. Das Programm wurde von der GRS entwickelt (Abbildung: GRS)

Dabei wurde eine große Anzahl von Reaktionen bezüglich der Bildung und des Verhaltens unterschiedlicher, radiologisch relevanter Iod-Spezies unter Unfallbedingungen im Sicherheitsbehälter betrachtet und ihr Einfluss auf den Quellterm untersucht. Insgesamt wurden 93 unsichere Parameter identifiziert und berücksichtigt, 56 davon waren Reaktionskonstanten des Iodmodells *AIM*. Analysiert wurde dabei ein sogenannter Phebus-Versuch, in dem alle wesentlichen Phänomene im Hinblick auf die Iodchemie und die Vorgänge im Sicherheitsbehälter auftraten.

Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse ergab, dass die Parameter Radiolytische Bildung von molekularem Iod (*I₂*) im Sumpf, Ablagerung von *I₂* auf Farbe, Iod/Silberreaktion im Sumpf, Radiolytische Bildung von Organiod und Freisetzung von *I₂* aus dem Kühlkreislauf ins Containment den größten Beitrag an der Gesamtunsicherheit der *I₂*-Konzentration im Gas liefern.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können künftig als eine Entscheidungsgrundlage für Modellverbesserungen genutzt werden.

XSUSA. Die GRS hat 2012 das Programm XSUSA (Cross Section Uncertainty and Sensitivity Analysis) weiterentwickelt, mit dem Unsicherheitsanalysen mit nuklearen Daten durchgeführt werden können.

XSUSA wurde insbesondere im internationalen UAM-LWR (Uncertainty Analysis in Modeling)-Benchmark für Leichtwasserreaktoren der OECD/NEA eingesetzt. Unter anderem wurden darin Unsicherheiten in Stabzellberechnungen, Brennelementberechnungen und stationären Ganzkernberechnungen bestimmt. Lösungen wurden insbesondere bei der Ermittlung von Unsicherheiten der Leistungsverteilungen in Uran- und Uran/Mischoxid (MOX)-Ganzkernanordnungen ermittelt.

Dabei hat sich gezeigt, dass die relativen Unsicherheiten für den gemischten Uran/MOX-

Kern aufgrund der vorgegebenen, ungünstigen Kernbeladung lokal (in der Kernmitte und am Rand) Werte von teilweise mehr als 10 % annehmen.

Durch die Beteiligung an einschlägigen internationalen Benchmarks für Unsicherheitsanalysen – darunter sind neben dem bereits erwähnten UAM-LWR unter anderem das »Uncertainty Analysis for Criticality Safety Assessment« (UACSA) und das »IAEA Coordinated Research Program on the HTGR Uncertainty Analysis in Modeling« – und dem Ausbau internationaler Kooperationen, unter anderem mit dem Oak Ridge National Laboratory, der University of Michigan, der Universidad Politecnica de Madrid und der Penn State University, nimmt die GRS eine international führende Position im Bereich der Unsicherheitsanalysen für nukleare Daten ein.

Strukturdynamische Analysemethoden zur Simulation des Verhaltens von Containmentstrukturen bei Einwirkungen von außen und von innen

Einer der Schwerpunkte in der Reaktorsicherheitsforschung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) ist die Weiterentwicklung und Erprobung struktur-dynamischer Analysemethoden. Sie werden zur Simulation des Verhaltens von Containmentstrukturen eingesetzt, wenn diese infolge innerer oder äußerer Einwirkungen Belastungen ausgesetzt sind. Die GRS validiert die hierfür notwendigen Simulationsmethoden und wendet sie z. B. im Rahmen von Fragestellungen des Bundesumweltministeriums (BMU) an.

Verhalten eines Reaktorgebäudes. Ein Arbeitsschwerpunkt im Fachgebiet Strukturmechanik waren die Untersuchungen zur Aufprallsimulation eines Militärflugzeugs vom Typ Phantom auf Stahlbetonstrukturen. Zu dem in den Sandia National Laboratories (USA) durchgeführten Versuch stellte die GRS Berechnungen an und wendete dazu erstmals sogenannte Kontaktsimulationen an.

Mit dieser wurde das Verhalten des statt Kerosin in den Flugzeugtanks befindlichen Wassers nachgebildet (siehe Abbildung 1). Für die Simulationen wurde das Rechenprogramm ANSYS AUTODYN eingesetzt.

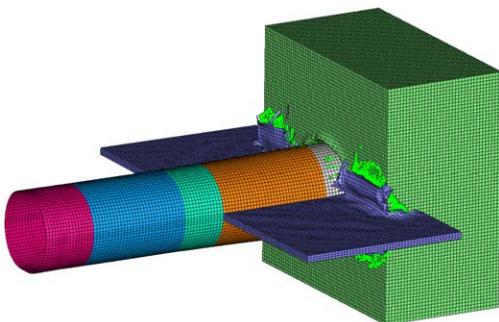


Abbildung 1: Simulation des in den Sandia National Laboratories durchgeführten Aufprallversuchs mit einer Phantom (Abbildung: GRS)

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass der Stoßkraft-Zeitverlauf des Aufprallversuchs vom Rechenprogramm mit hoher Genauigkeit simuliert werden kann (siehe Abbildung 2).

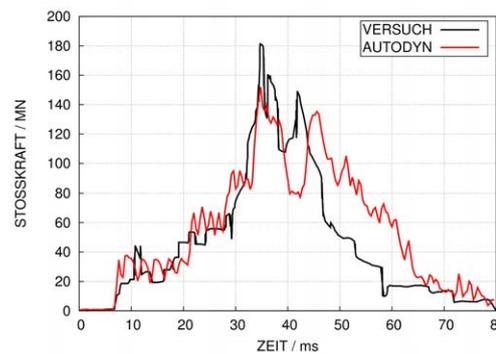
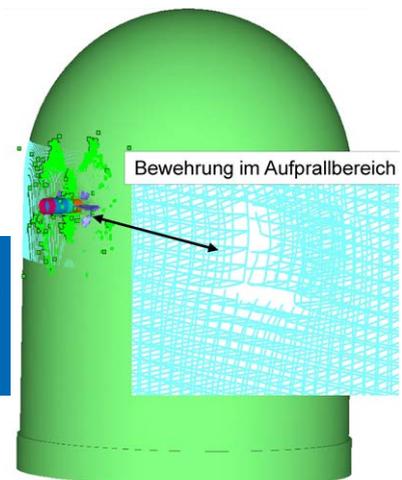


Abbildung 2: Vergleich des gemessenen (schwarz) und berechneten Stoßkraft-Zeitverlaufs (rot) beim Sandia Phantom Aufprallversuch (Abbildung: GRS)

In einem nächsten Schritt wurde untersucht, wie sich die lokalen Belastungen infolge eines Aufpralls einer Phantom auf die Containmentintegrität, das heißt seine Unversehrtheit, auswirken. Abbildung 3 zeigt das Verhalten der Stahlbetonwand 80 Millisekunden (ms) nach Beginn des Aufpralls. Die Ergebnisse sind teilweise sehr stark abhängig von der Wahl des Versagenskriteriums im Materialmodell für Beton. Ein Versagenskriterium ist eine Regel, die zur Bewertung von Ergebnissen herangezogen wird.

Abbildung 3: Ergebnis der Aufprallsimulation einer Phantom auf ein Reaktorgebäude aus Stahlbeton nach 80 ms (Abbildung: GRS)



Verhalten eines Sicherheitsbehälters. Gegenstand einer weiteren Untersuchung war das Verhalten eines Stahlsicherheitsbehälters vom Typ Konvoi bei Einwirkungen von innen. Angenommen wurden sogenannte peakartige, d. h. plötzlich stark ansteigende, lokale Druck- und Temperaturbelastungen. Anhand der Untersuchungsergebnisse will man Belastungen, die sich aus Wasserstoffverbrennungen ergeben können, besser bewerten.

Basierend auf Informationen zu Geometrie und Konstruktion eines Sicherheitsbehälters wurde neben vereinfachten Modellen ein dreidimensionales 360°-Analysemodell erstellt, das sowohl Schleusen als auch Rohrdurchführungen berücksichtigt. Untersucht wurde insbesondere der Einfluss der Peakdauer und -höhe sowie der Größe und der Position der druckbeaufschlagten Fläche auf die Grenztragfähigkeit des Sicherheitsbehälters.

Die Berechnungen zeigen, dass die höchsten Beanspruchungen im Bereich der druckbeaufschlagten Fläche erreicht werden (vgl. rot eingefärbter Bereich in Abbildung 4). Bei kurzzeitiger Peakdauer ergaben sich Schwingungen des lastbeaufschlagten Teils des Behälters. Abbildung 4 zeigt exemplarisch für den Fall einer Peakhöhe von 1 Megapascal (*MPa*) und einer Peakdauer von 32 *ms* die Verteilung der Vergleichsspannung zum Zeitpunkt 24,5 *ms* auf der verformten Struktur. Dabei wird die

Verformung um den Faktor 10 überhöht dargestellt. Bei längerer Peakdauer reagiert der Sicherheitsbehälter nahezu quasistatisch, das heißt sehr langsam. Peakhöhen bis zu ca. 0,4 *MPa* führen zu keinen plastischen Dehnungen in der Wand des Sicherheitsbehälters. Bei Peakhöhen oberhalb von 1 *MPa* zeigt die quasistatische Rechnung höhere plastische Dehnungen als die Rechnungen mit kurzer Peakdauer, das heißt sie ist abdeckend.

Analysen mit kombinierter Temperatur- und Druckbelastung ergaben, dass ein lokales Versagen an den Stellen, an denen höhere Temperaturen herrschen (d. h. größer ca. 700 °C), nicht ausgeschlossen werden kann.

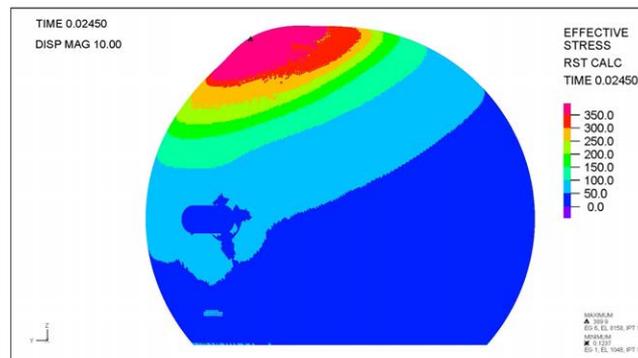


Abbildung 4: Spannungsverteilung im Sicherheitsbehälter bei peakartiger Druckbelastung nach 24,5 *ms* (Abbildung: GRS)

Weiterentwicklung der Methoden der probabilistischen Sicherheitsanalyse

Neben der Auswertung von Ereignissen in kerntechnischen Anlagen basiert die wissenschaftliche Fachberatung von Aufsichts- und Genehmigungsbehörden durch die GRS auch auf der Weiterentwicklung von Analysemethoden. Zu diesen Analysemethoden zählt insbesondere die probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA). Diese Form der Risikoanalyse erlaubt eine Aussage über die Häufigkeit, mit der es in einem Kernkraftwerk innerhalb eines definierten Zeitraums zu bestimmten Schadenszuständen kommt.

PSA bei Unfallabläufen im Brennelement-lagerbecken. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde 2012 mit Untersuchungen zu Unfallabläufen in Brennelement (BE)-Lagerbecken von DWR- und SWR-Anlagen begonnen. Ähnlich wie andere Brennstoffe »verbraucht« sich auch der Kernbrennstoff, der in einem Kernkraftwerk zur Kernspaltung genutzt wird. Hat ein BE einen bestimmten »Ab-

brand« erreicht und kann deshalb nicht mehr weiter genutzt werden, so wird es aus dem Reaktorkern entladen und in ein Lagerbecken gebracht. Diese BE-Lagerbecken befinden sich ebenfalls im Reaktorgebäude des KKW, bei deutschen Druckwasserreaktoren (DWR) innerhalb, bei deutschen Siedewasserreaktoren (SWR) außerhalb des Sicherheitsbehälters.



Brennelementlagerbecken des KKW Emsland
(Foto: RWE AG)

■ Was wird in einer PSA untersucht und welche Stufen gibt es?

Zur Erfassung des Unfallrisikos werden in der Kerntechnik deterministische und probabilistische Methoden ergänzend zueinander eingesetzt. Deterministische Verfahren erfolgen nach dem klassischen, ursachenbezogenen »Wenn-Dann«-Prinzip. Mit ihnen lässt sich das Verhalten eines Kernkraftwerks bei angenommenen Ereignissen berechnen. Probabilistische Bewertungen hingegen ermöglichen eine zahlenmäßige Erfassung eines Unfallrisikos und gehen davon aus, dass technisches Versagen nur eine Frage der Zeit ist. Für einen Ausfall bzw. die Auswirkung eines Ereignisses besteht deshalb immer eine bestimmte Wahrscheinlichkeit. Wie häufig dies ist, lässt sich mit einer probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) berechnen.

Entsprechend ihrer Prüfreichweite werden PSA in drei Stufen unterteilt. Während mit einer PSA der Stufe 1 die jährliche Eintrittshäufigkeit eines sogenannten Kernschadens für ein KKW ermittelt wird, wird in der PSA der Stufe 2 betrachtet, welche unterschiedlichen Gefährdungen daraus für Mensch und Umwelt resultieren. Dazu wird die Häufigkeiten der Szenarien berechnet, die von einem beginnenden Kernschaden über eine Kernschmelze mit Versagen des Sicherheitsbehälters bis

zu Freisetzungen von Radioaktivität führen. PSA der Stufe 2 müssen im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfung in Deutschland für den Leistungsbetrieb von Kernkraftwerken erstellt werden.

In PSA der Stufe 3 werden in einem weiteren Schritt unterschiedliche Szenarien für die Ausbreitungen freigesetzter radioaktiver Stoffe in die Umwelt berechnet. Erst damit können dann Häufigkeit, Ausmaß und Ausbreitung einer signifikanten radioaktiven Belastung der Umgebung berechnet werden. Unter Berücksichtigung von Strahlenschutzmaßnahmen wie Evakuierungen oder Verzehrverboten kann schließlich auch die unfallbedingte Strahlenbelastung der Bevölkerung in Form konkreter Dosiswerte ermittelt werden.

PSA der Stufe 3 liegen international bislang nur vereinzelt vor. In Deutschland sind sie rechtlich nicht gefordert. Nach der Deutschen Risikostudie Phase A im Jahr 1979 wurde in Deutschland keine durchgehende PSA von der Stufe 1 bis zur Stufe 3 mehr erstellt.

Weitere Informationen zu Methodik und Nutzen von PSA liefert ein [Web-Beitrag](#) auf der Homepage der GRS. ■

Ziel der Arbeiten im Projekt ist es, die probabilistische Analyse für Brennelementlagerbecken auf die PSA Stufe 2 zu erweitern und dafür Methoden neu zu entwickeln. Damit sollen Grundlagen geschaffen werden, um die Auswirkungen von Kernschmelzabläufen im Lagerbecken auf die Anlage sowie die damit verbundenen Freisetzungen in die Umgebung zu quantifizieren. Für die Entwicklung dieser Ansätze werden deterministische Unfallanalysen zur Beschreibung der Thermohydraulik im Becken, des Verhaltens der eingelagerten Strukturen (Brennelemente, Gestelle etc.) sowie der Spaltproduktfreisetzung und des -transports innerhalb der angrenzenden Gebäudebereiche durchgeführt. Darüber hinaus wird der Einfluss einer Kernschmelze auf das mechanische Verhalten der Beckenstruktur strukturmechanisch untersucht.

PSA bei Störungen in der elektrischen Energieversorgung. Im *BMU*-Vorhaben »Auswertung und Modellierung von Maßnahmen auf den Sicherheitsebenen 1 und 2 anhand einer PSA« hat die GRS 2012 für ausgewählte Maßnahmen und Einrichtungen probabilistische Analysen durchgeführt. Ziel war es, die Ausgewogenheit der Auslegung und auch gegebenenfalls vorhandene Schwachstellen zu ermitteln bzw. zu bewerten.

Dazu wurden Ereignisbäume für verschiedene Störungen in der elektrischen Energieversorgung, in der Dampferzeugerbespeisung und für die Druck- und Füllstandsabsicherung des Speisewasserbehälters entwickelt. Ein Beispiel für einen Fehlerbaum findet sich in der neben stehenden Abbildung.

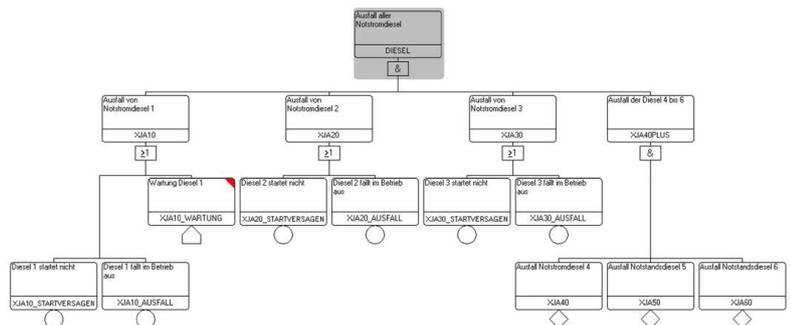
Die Ereignisablaufanalyse endet mit Zuständen, die auslösenden Ereignissen zugeordnet werden können, die in vorhandenen PSA bereits untersucht wurden. Zusätzlich wurde die Nutzung dieser Ansätze bei der Modellierung von Ereignisabläufen in einer Brand-PSA untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass eine Durchführung der PSA auf den Sicherheits-

ebenen 1 und 2 mit den etablierten PSA-Methoden grundsätzlich möglich ist und dass diese in bestehende PSA-Modelle integriert werden können. Allerdings sind diese PSA aufwendig und würden neue Zuverlässigkeitsdaten erfordern.

Monte Carlo Dynamik Event Tree. In Ergänzung zu den PSA-Arbeiten entwickelt die GRS die Methode »Monte Carlo Dynamik Event Tree« (*MCDET*). Diese Methode erlaubt es, vereinfachte stochastische, das heißt wahr-scheinlichkeitsbasierte, Annahmen der PSA, die meist durch ja/nein bzw. auf/zu-Entscheidungen charakterisiert sind, aufzuheben, um insbesondere Zeitabhängigkeiten oder mehrwertige Zustände von Komponenten oder Systemen berücksichtigen zu können.

In Verbindung von *MCDET* mit einem deterministischen Rechencode (wie z.B. *ATHLET*) können damit Wechselwirkungen zwischen dem simulierten Anlagenverhalten und zufälligen Ereignissen unter Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung erfasst werden.

Im Jahr 2012 wurden Arbeiten an der bisher vorliegenden Prototyp-Version des Programms *MCDET* zu einer benutzerfreundlichen Programmversion durchgeführt. In diesem Zusammenhang wird unter anderem auch versucht, den Rechenaufwand, der für umfassende und aussagekräftige Analysen erheblich ist, zu reduzieren.



Beispielhafter Fehlerbaum für den Ausfall aller Notstromdiesel (Quelle: GRS)

Richtlinie zum Schutz von IT-Systemen in Kernkraftwerken

2012 arbeitete die GRS gemeinsam mit dem Bundesumweltministerium (BMU), dem Bundesinnenministerium (BMI), dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) und den Aufsichtsbehörden der Länder am Entwurf einer neuen Richtlinie zum Schutz von IT-Systemen in kerntechnischen Anlagen und Einrichtungen der Sicherungskategorie I und II gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD).

Ziel. Die Richtlinie soll ein bundeseinheitliches Sicherungsniveau für kerntechnische Anlagen und Einrichtungen der Sicherungskategorie I und II gewährleisten und somit nicht nur auf Kernkraftwerke, sondern abgestuft auch auf andere kerntechnische Anlagen wie zum Beispiel Forschungsreaktoren, Zwischenlager und Anreicherungsanlagen angewendet werden. Sie soll den Antragssteller bzw. Genehmigungsinhaber bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Einhaltung der allgemeinen Schutzziele der Sicherung unterstützen. Dazu zählen zum Beispiel Maßnahmen, die die Freisetzung oder die Entwendung einer erheblichen Menge radioaktiver Stoffe aus Kernbrennstoffen verhindern. Die Richtlinie soll darüber hinaus aber auch die atomrechtlichen Aufsichtsbehörden in die Lage versetzen, die Anlagenkonzepte und die Maßnahmen der Anlagenbetreiber zur IT-Sicherheit zu beurteilen.

Inhalt. Die Richtlinie fordert die Einführung einer IT-Sicherheitsorganisation. In dieser werden den verschiedenen Funktionsträgern zusätzliche Aufgaben, Verantwortungen und Befugnisse im Bereich der IT-Sicherheit zugewiesen. Wichtiger Bestandteil der IT-Sicherheitsorganisation ist die Bestellung eines IT-Sicherheitsbeauftragten.

Die Richtlinie stellt zudem Anforderungen an ein einzuführendes IT-Sicherheitskonzept und enthält Anforderungen an die zu ergreifenden Sicherungsmaßnahmen. Diese Anforderungen sind unterteilt in allgemeingültige Anforderungen und Anforderungen, die vom jeweiligen Schutzbedarf abhängig sind. Darüber hinaus enthält die Richtlinie Anforderungen zum Vorgehen bei erkannten IT-Sicherheitsvorfällen.

Die [SEWD-Richtlinie IT](#) wird 2013 im Länderausschuss für Atomkernenergie final beraten.



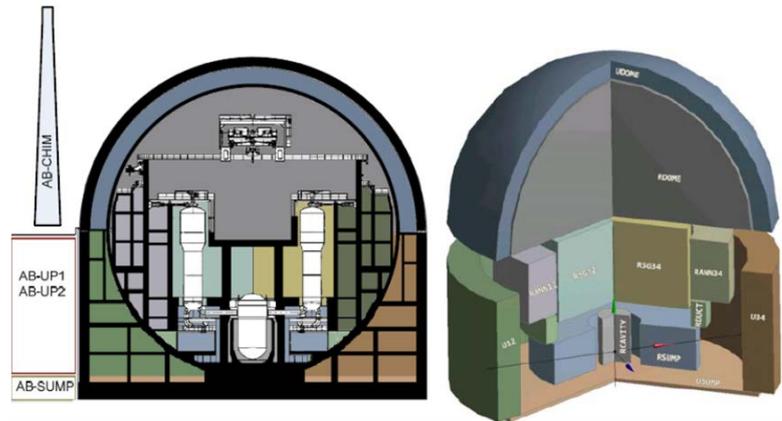
Sichere IT-Systeme sind insbesondere bei kritischen Infrastrukturen wichtig (Bild: © iStockphoto.com, Photobvious)

SARNET 2 – Generic Containment Code Benchmark

Im Rahmen des Europäischen Exzellenznetzwerks *SARNET* (Severe Accident Research Network) im 7. *EU*-Forschungsrahmenprogramm wurde 2012 ein »Generic Containment Code Benchmark« zur Analyse von Unfallabläufen im Containment eines *DWR* durchgeführt. 14 Europäische Organisationen beteiligten sich mit zehn unterschiedlichen Containment Codes, darunter auch die GRS mit ihren Codes *COCOSYS* und *ASTEC*. Letzterer wird zusammen mit den französischen Partner *IRSN* entwickelt.

Berechnung eines Unfallszenarios. Anders als in sonst üblichen Codebenchmarks sollten nicht spezifische Phänomene bzw. deren Modellierung anhand von kleinskaligen Einzeleffektexperimenten verglichen werden. Vielmehr sollten unterschiedliche Codes und deren integrale Berechnung aller miteinander wechselwirkender Phänomene bei der Berechnung eines kompletten Unfallszenarios mit weitestgehend identischen Datensätzen angewandt und bewertet werden.

Der Benchmark erfolgte in mehreren Phasen, in denen die Komplexität des zu analysierenden Unfallablaufes z.B. durch die Berücksichtigung der Wasserstoffverteilung, zunahm. Vorgegeben war ein einfaches, einheitliches Nodalisierungsschema (Aufteilung eines Gesamttraumes in mehrere Teilräume, siehe Abbildung einer *DWR*-Referenzanlage. Die Berechnungen waren zunächst beschränkt auf Phänomene der Thermohydraulik.



Nodalisierung der DWR-Referenzanlage (Abbildung: Kelm, S. et al. »Description of generic containment model and performed simulations«, Deliverable/Report SARNET2-CONT-D7.4, EC-Grant Agreement No. 231747, June 2013)

Umsetzung und Ergebnisse. Die Teilnehmer, die *COCOSYS* und *ASTEC* anwandten, konnten sehr gute Ergebnisse vorweisen. Dies zeigte sich u. a. daran, dass die Ergebnisse eng beieinander lagen, während die Abweichungen bei den Berechnungen mit anderen Codes teilweise deutlicher ausfielen.

Die verbliebenen Unterschiede ergaben sich u. a. durch die Wahl unterschiedlicher Modelloptionen oder andersartiger Interpretationen von Randbedingungen. Es zeigte sich zudem, dass selbst unter identischen Randbedingungen der Anwender durch die Wahl einzelner modell- und codespezifischer Eingabeparameter entscheidend Einfluss auf die Ergebnisse genommen werden kann. Vor diesem Hintergrund muss die Schulung und Bereitstellung von Nutzerhilfen besonders beachtet werden. Dies wird bei der GRS konsequent durch die Erstellung von Guidelines und Durchführung von Anwender-Treffen verfolgt.

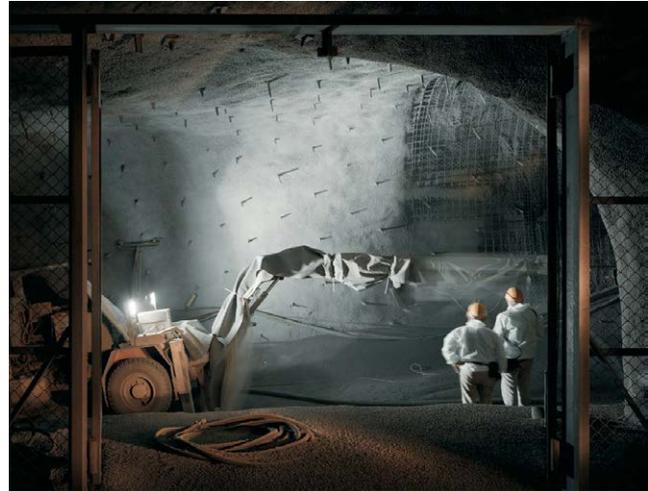
Entsorgung

➔ Das Ziel der Entsorgung radioaktiver Abfälle liegt darin, sie langfristig und sicher einzuschließen und auf diese Weise von der Biosphäre fernzuhalten, um Mensch und Umwelt von der ionisierenden Strahlung abzuschirmen. Dazu wird in Deutschland die Strategie der Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Gesteinsschichten untersucht. Neben dem intensiv untersuchten Wirtsgestein Salz kommen dafür in Deutschland auch andere Gesteine in Frage. Die GRS bewertet als Gutachter- und Sachverständigenorganisation des Bundes und der Länder die Sicherheit möglicher Endlagerstandorte und forscht auf dem Gebiet der Endlagersicherheit.

Mithilfe von eigens entwickelten Modellen, Methoden und Instrumentarien sollen in der Endlagersicherheitsforschung die komplexen Prozesse in einem Endlager abgebildet werden, um so Aussagen über dessen Langzeitsicherheit treffen zu können. Zum Beispiel wird untersucht, welche Auswirkungen eine Eiszeit auf das Endlager hat oder wie sich radioaktive Stoffe in bestimmten Gesteinen ausbreiten. Ein Großteil dieser Forschungsarbeit für das Wirtsgestein Salz findet im Endlagerforschungszentrum der GRS in Braunschweig statt. Doch auch der Austausch mit Untertagelaboren im europäischen Ausland, in denen Tongestein und Granit als mögliche Wirtsgesteine untersucht werden, wird intensiv gepflegt.

Ob ein Standort sich für die Endlagerung radioaktiver Abfälle eignet, dafür gibt es strenge regulatorische Vorgaben. Beispielsweise sind Sicherheitsnachweise zum Betrieb und zur Langzeitsicherheit eines Endlagers zu führen. In diesem Prozess ist die GRS gutachterlich und beratend für den Bund und seine zuständigen Behörden tätig. Dies betrifft Aspekte des Abfallmanagements, ausgehend von der Zusammensetzung der Abfälle, deren Einlagerung bis hin zur Stilllegung eines Endlagers ebenso wie den entsprechenden Langzeitsicherheitsnachweis.

So war die GRS beispielsweise im Planungs- und Genehmigungsprozess zum Endlager Konrad eingebunden, in dem in einigen Jahren Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung eingelagert werden sollen.



(Foto: © Bundesamt für Strahlenschutz)

Projekt VIRTUS – Entwicklung eines virtuellen Untertagelabors

In dem Projekt *VIRTUS* entwickelt die GRS zusammen mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), der DBE Technology GmbH und dem Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) das weltweit erste virtuelle Untertagelabor. Ziel des mit Mitteln des Bundeswirtschaftsministeriums geförderten Projekts ist es, mit *VIRTUS* eine Programmplattform bereitzustellen, die sowohl die Forschung zur Endlagerung radioaktiver Abfälle als auch die Darstellung entsprechender Ergebnisse für die interessierte Öffentlichkeit unterstützt.

VIRTUS als Forschungsinstrument. Eine wesentliche Aufgabe der Endlagerforschung liegt in der Ermittlung und Bewertung der Prozesse, die sich in dem Endlagersystem aus Abfallbehältern, technischen Barrieren und umgebenden Gestein über lange Zeiträume abspielen. Dabei handelt es sich um thermisch-mechanisch-hydraulisch gekoppelte Prozesse wie z. B. Druck- und Temperaturveränderungen, aber auch um geochemische Vorgänge wie Korrosion und Gasbildung. Die Komplexität dieser Vorgänge wird dadurch erhöht, dass sie sich teilweise wechselseitig beeinflussen.

Mit *VIRTUS* soll es Wissenschaftlern ermöglicht werden, diese Prozesse und ihre Wechselwirkungen in einer detailgetreuen Nachbildung von Endlagerbergwerken in realen geologischen Formationen zu simulieren und die Simulationsergebnisse zu visualisieren. Dazu verknüpft *VIRTUS* Software für die dreidimensionale Darstellung geologischer Modelle mit den Ergebnisdaten von Simulationsrechnungen und Daten zum Materialverhalten der geologischen und technischen Komponenten. Langfristig sollen Forscher auf



VIRTUS - Virtuelles Modell eines Untertagelabors in einer 360-Grad-Darstellung im Fraunhofer IFF. Wenn alle Betroffenen die Details vor Augen haben, lassen sich Entscheidungsprozesse einfacher gestalten (Foto: Fraunhofer IFF, Foto: Dirk Mahler)

der ganzen Welt auf die *VIRTUS*-Plattform zugreifen, virtuell »experimentieren« und Ergebnisse austauschen können. Bei der Entwicklung wird dazu die Möglichkeit der Anbindung an Webserver berücksichtigt.

Unterstützung der Standortauswahl. *VIRTUS* könnte auch bei der Auswahl eines Endlagerstandorts eine wichtige Rolle spielen. Will man die Eignung eines möglichen Standorts untersuchen, so muss dazu ein Endlager konzipiert werden. Konkret bedeutet dies, dass beispielsweise auf der Grundlage der Daten über Art und Menge der einzulagernden Abfälle, der jeweiligen geologischen Gegebenheiten und weiterer Annahmen die »Architektur« eines Grubengebäudes – also der Schächte, Strecken und Einlagerungsbereiche – entworfen werden muss. Erst auf dieser Grundlage ist es möglich zu beurteilen, ob an diesem Standort radioaktive Abfälle über den geforderten Zeitraum von einer Million Jahre von der Biosphäre abgeschlossen gelagert werden können.

VIRTUS soll die notwendige Entwicklung von Endlagerkonzepten und die darauf aufbauenden Sicherheitsanalysen nachvollziehbarer und effizienter gestalten. Vor allem die bildliche Darstellung von Experimenten und deren Ergebnissen kann *VIRTUS* zu einem wichtigen Hilfsmittel bei der Einbindung der Öffentlichkeit in die Suche nach einem Endlagerstandort machen. Das virtuelle Modell ermöglicht auch Laien ein besseres Verständnis der komplizierten Prozesse zu entwickeln, die in Endlagern ablaufen.

Stand des Projekts. Bislang wurde ein *VIRTUS*-Prototyp entwickelt, der nun laufend erweitert wird. Hierzu werden drei sogenannte Leitexperimente unterschiedlicher Komplexität definiert, die im Rahmen des laufenden Projekts simuliert werden. Anhand dieser Experimente soll der gesamte Simulationsprozess mit den einzelnen Arbeitsschritten (z. B. der Import des geologischen Modells, die Er-

richtung des virtuellen Grubengebäudes und die 3D-Visualisierung) demonstriert werden.

In dem aktuell laufenden Projekt wird *VIRTUS* für Simulationen endlagerrelevanter Prozesse in Salzgestein entwickelt. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, *VIRTUS* auch für die Wirtsgesteine Ton und Granit zu modifizieren.



Projekt REPOPERM – Forschung zum Kompaktionsverhalten von Salzgrus

Im Verbundprojekt *REPOPERM* (REstPORosität und -PERMeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz) untersucht die GRS zusammen mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und der DBE Technology GmbH die Kompaktion von Salzgrus in Endlagern im Salzgestein. Ziel des Projekts ist die Verbesserung des Prozessverständnisses und der Datenbasis zur Weiterentwicklung von Simulationsmodellen.

Bedeutung der Kompaktion für den sicheren Einschluss. In einem Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle soll der sichere Einschluss der Schadstoffe durch das Zusammenwirken des Wirtsgesteins mit verschiedenen technischen Barrieren erzielt werden. Bei der Endlagerung im Salz spielt dabei der Versatz – so wird fachsprachlich das Auffüllen von Hohlräumen zum Beispiel in Einlagerungsbohrlöchern oder Strecken bezeichnet – mit sogenanntem Salzgrus eine wichtige Rolle. Durch die Bewegung des umgebenden Wirtsgesteins wird der zunächst lockere und damit sehr poröse Salzgrus mit der Zeit zusammengedrückt. Idealerweise weist er schließlich nur noch die Porosität des umgebenden Salzgesteins auf und damit eine vergleichbare Barrierewirkung, was aber noch nicht belegt ist. Diesem Kompaktionsverhalten des Salzgrus kommt damit für die Langzeitsicherheit eine große Bedeutung zu, denn das Maß der Porosität ist entscheidend dafür, ob und in welchem Umfang Lösungen zu den Abfällen bzw. Radionuklide aus dem einschlusswirksamen Gebirgsbereich gelangen können.

Bisherige Datenbasis unzureichend. Die langfristig sichere Isolation der Abfälle wird im Allgemeinen rechnerisch mit Hilfe von Simulationsmodellen nachgewiesen. Dies setzt

voraus, dass für die Modellierung der zu simulierenden Phänomene eine ausreichende und verlässliche Datenbasis vorhanden ist. Ein Bestandteil der Phase 1 des Projekts, die 2009 abgeschlossen wurde, war ein systematisches Review der bislang verfügbaren Experimentaldaten zum Kompaktionsverhalten von Salzgrus. Diese Untersuchung hat gezeigt, dass die bisherige Datenbasis in dem für die Langzeitsicherheit besonders wichtigen Bereich geringerer Porositäten von unter 3 % noch nicht verlässlich ist (zum Vergleich: die Porosität liegt unmittelbar nach der Verfüllung bei ca. 35 % und soll im Lauf der Kompaktion einen Wert von etwa 0,1 % erreichen). Ferner wurde der Einfluss der Feuchtigkeit im Salzgrus auf das Kompaktionsverhalten bisher nicht systematisch untersucht.

Die Erweiterung der Datenbasis wird durch die geringfügigen natürlichen örtlichen Änderungen in der mineralogischen Zusammensetzung des Salzgruses beschränkt. Diese führen dazu, dass die Bestimmung der Porosität durch Messungen unterhalb eines Werts von ca. 3 % mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist.

Erweiterung der Datenbasis. Wesentliches Ziel der aktuell laufenden Phase 2 des Projekts *REPOPERM* ist die Ergänzung der bisherigen Datenbasis mit besonderem Blick auf den Feuchteinfluss. Zu diesem Zweck werden im Geowissenschaftlichen Labor der GRS an ihrem Braunschweiger Standort Experimente durchgeführt, die auf der Grundlage der Ergebnisse der Phase 1 konzipiert wurden. Im Kompaktions-Versuchsstand werden dazu



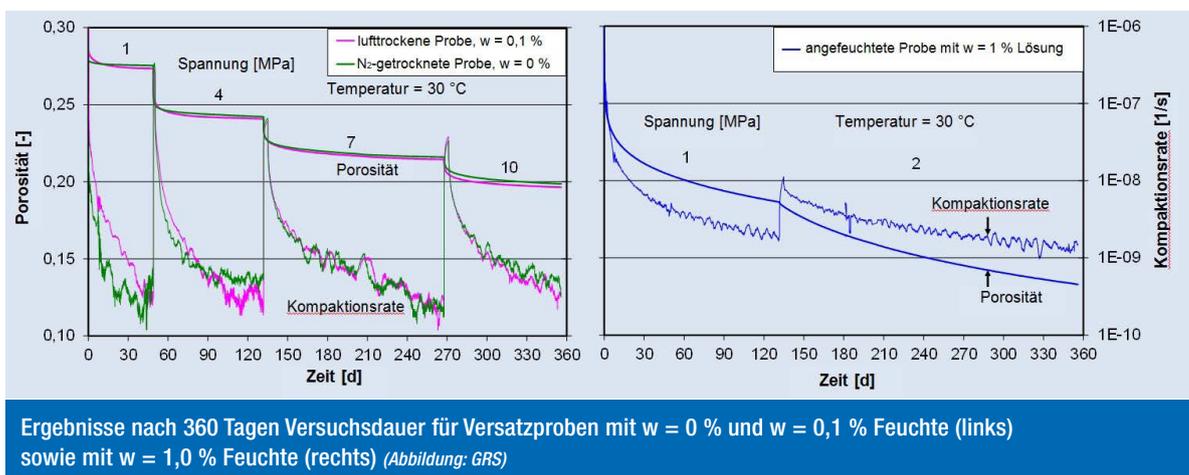
Kompaktions-Versuchsstand im Geowissenschaftlichen Labor der GRS (Foto: GRS)

Versatzproben jeweils einer stufenförmig anwachsenden Druckspannung und verschiedenen Temperaturen ausgesetzt. Die Proben weisen verschiedene Wassergehalte auf, um den erheblichen Einfluss der Feuchte auf das Kompaktionsverhalten des Salzgruses zu quantifizieren. Eine möglichst gute Annäherung an die Bedingungen in einem Endlager soll dadurch erzielt werden, dass die Versuche über einen Zeitraum von drei Jahren durchgeführt werden.

Anhand der mit den Versuchen ermittelten Daten werden bereits bestehende Stoffmodelle durch begleitende Modellrechnungen überprüft und gegebenenfalls korrigiert. Im Vordergrund stehen dabei wegen der oben erwähnten naturgegebenen Unsicherheiten bei der Porositätsbestimmung bei Werten unter

3 % nicht die direkte Messung bei sehr kleinen Porositäten, sondern die Entwicklung eines Stoffmodells für den messtechnisch beherrschbaren Porositätsbereich.

Erste Ergebnisse der Versuche. Nach einer Versuchsdauer von 360 Tagen zeigt sich bereits der deutliche Einfluss der Feuchte auf das Kompaktionsverhalten. Die mit 1 % Lösung angefeuchtete Probe ist im gleichen Zeitraum bei geringerer Drucklast weiter kompaktiert als die Proben mit 0 % und 0,1 % Feuchte. Dies hat Konsequenzen für das initiale Sacken von Salzgrus unter Eigengewicht vor allem aber für das Kompaktionsverhalten bei einem Lösungszutritt in eine Strecke. Diese Vorgänge werden deshalb im weiteren Verlauf des Projekts modelltheoretisch überprüft.



Änderung der Zielsetzung der Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben

Seit 2010 befasst sich die GRS in dem Forschungsvorhaben »Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben« (VSG) zusammen mit acht weiteren Projektpartnern mit verschiedensten Fragestellungen zum Standort Gorleben und zu grundsätzlichen methodischen Fragestellungen. Bis Ende 2012 wurden im Projekt acht von insgesamt 25 geplanten Einzelberichten fertiggestellt und unter anderem auf der Website der GRS veröffentlicht. Eine wesentliche inhaltliche Änderung hat das Projekt im Herbst 2012 durch eine teilweise Aktualisierung seiner Zielsetzung und eine Anpassung der Projektplanung erfahren.

Ursprüngliche Zielsetzung. In seiner ursprünglichen Konzeption wurden mit dem Projekt VSG im Wesentlichen drei Ziele verfolgt. Das erste Ziel bestand in der Erarbeitung einer systematischen Zusammenfassung des Kenntnissstands zu Gorleben. Darauf aufbauend sollte als zweites Ziel eine vorläufige Eignungsprognose erarbeitet werden. Die Vorläufigkeit einer solchen Prognose ergibt sich dabei zwangsläufig aus dem Umstand, dass eine endgültige Eignungsaussage nur nach einer vollständigen untertägigen Erkundung möglich ist, die in Gorleben nicht gegeben ist. Die dritte Zielsetzung der VSG bestand in der Identifizierung des noch bestehenden Bedarfs an Forschung und Entwicklung.

Aktualisierte Zielsetzung. Nach Projektbeginn wurde im politischen Raum ein breiter Konsens darüber erzielt, dass der Standort eines zukünftigen Endlagers für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle durch einen Vergleich verschiedener Standorte im Rahmen eines mehrstufigen Auswahlverfahrens gefunden werden soll. Daraus ergibt sich, dass die Frage der Eignung eines Standorts zukünftig nur noch im Vergleich mit anderen beantwortet werden kann: »Geeignet« in diesem Sinn



Teile der Gebäude des Erkundungsbergwerks am Standort Gorleben
(Foto: Wikimedia Commons/ Fice)

wird damit der Standort sein, der verschiedene grundsätzliche und vergleichsspezifische Kriterien erfüllt. Da diese Kriterien heute noch nicht feststehen, kann eine vorläufige Prognose einer so verstandenen Eignung für den Standort Gorleben in der VSG nicht erarbeitet werden.

Die GRS hat deshalb im Einvernehmen mit dem Bundesumweltministerium (BMU) als dem Zuwendungsgeber der VSG die Projektziele in 2012 angepasst. Danach bleiben die systematische Zusammenfassung des bisherigen Kenntnisstands zu Gorleben und die Identifizierung des zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsbedarfs weiterhin Ziele der VSG. Die Änderungen betreffen die nachfolgenden Punkte:

- Eine vorläufige Eignungsprognose für den Standort Gorleben wird nicht erarbeitet. Es wird hingegen geprüft, ob die im Vorhaben VSG entwickelten Endlagerkonzepte im Verbund mit der geologischen Barriere am Standort Gorleben oder einem hinsichtlich der geologischen Situation vergleichbaren Salzstandort aus heutiger Sicht geeignet erscheinen, die Sicherheitsanforderungen des BMU zu erfüllen.

- ⚡ Ergänzt werden die bisherigen Projektziele um eine Untersuchung der Frage, welche methodischen Ansätze der VSG in einem zukünftigen Standortauswahlverfahren sinnvoll zum Vergleich von Endlagerstandorten eingesetzt werden können. Unabhängig von der konkreten Ausgestaltung des zukünftigen Standortauswahlverfahrens ist bereits heute absehbar, dass es im Verlauf eines solchen Verfahrens immer wieder erforderlich sein wird, den bis zu einem bestimmten Verfahrensschritt erreichten Wissensstand zu den einzelnen Standorten systematisch zusammenzufassen und zu bewerten.
- ⚡ Über die ursprünglichen Zielsetzungen hinaus wird untersucht, welche der in der VSG entwickelten technischen Konzepte zur Einlagerung der radioaktiven Abfälle und zum Verschluss des Endlagerberg-

werks übertragbar auf Endlagersysteme an Standorten mit anderen geologischen Gegebenheiten sind.

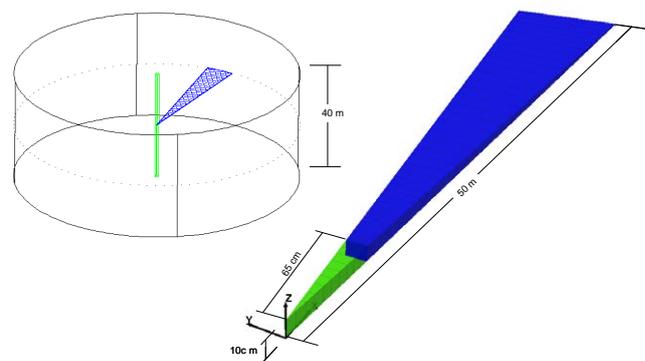
Aktualisierte Projektplanung. Durch den Ausstiegsbeschluss vom Mai 2011 hat sich die Prognose der zu erwartenden Gesamtmenge an wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen gegenüber jener, die zu Projektbeginn zugrunde gelegt wurde, erheblich verändert. Ein wesentlicher Teil der bis Mai 2011 durchgeführten Konzeptentwicklungen und Modellrechnungen musste deshalb mit den neuen Daten erneut durchgeführt und teilweise bereits fertiggestellte Teilberichte entsprechend durch aktualisierte Fassungen ergänzt werden. Dieser zusätzliche Aufwand und die oben erwähnten Ergänzungen in der Zielsetzung führen dazu, dass das Projekt nicht – wie ursprünglich vorgesehen – Ende 2012 sondern 2013 abgeschlossen werden kann.

Forschung zu THMC-Prozessen in der Übergangsphase eines Endlagers

Wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle geben im Endlager Wärme an das umgebende Gestein ab. Erst nach 10.000 Jahren ist dieser Wärmeeintrag vollständig abgeklungen. In dieser sogenannten Übergangsphase finden in dem Endlagersystem thermohydraulische, mechanische und chemische Prozesse – kurz: *THMC*-Prozesse – statt. Diese beeinflussen sich wechselseitig.

Ziel des THMC-Projekts. Die einzelnen *THMC*-Prozesse und ihre Wechselwirkungen haben eine hohe Relevanz für die Langzeitsicherheit eines Endlagers. Zu ihrer Ermittlung und Bewertung werden in der Regel verschiedene Rechenprogramme genutzt, mit denen die entsprechenden Prozesse bzw. Veränderungen des Endlagersystems über lange Zeiträume hinweg modelliert werden können. Ziel des seit 2010 laufenden Forschungsvorhabens »Thermo-Hydraulische-Mechanische-Chemische Prozesse (*THMC*) in der Übergangsphase eines Endlagers« der GRS ist es, Langzeitsicherheitsanalysen für Endlager weiter zu verbessern, indem wichtige geochemische Prozesse wie etwa die Fällung, Auflösung, Verdünnung und Sorption von Stoffen in die Modellrechnungen zur Freisetzung von radioaktiven Nukliden geeignet eingebunden werden.

Entwicklung neuer Programmmodule. Dazu wurde in dem Projekt beispielsweise ein Modul zur Erweiterung des bereits verfügbaren Rechenprogramms *TOUGH2* (Transport of Unsaturated Groundwater and Heat) entwickelt. Bei *TOUGH2* handelt es sich um einen Programmcode mit dem der advective und diffusive Transport von Lösungen und Gasen und Radionukliden in porösem Gestein modelliert werden kann. Das neue Modul berücksichtigt die Verfügbarkeit von Wasser



Veranschaulichung eines Modellgebiets um ein Bohrloch zur Untersuchung des Gastransport in unverritztes Salzgestein (Abbildung: GRS)

und dessen Verbrauch bei Korrosionsprozessen im Endlager. Im Projektverlauf soll dieses Modul so ergänzt werden, dass z. B. der Einfluss des ausgefallenen Salzes auf die Porosität mit berücksichtigt werden kann.

Untersuchung von Einzelprozessen. Neben der Entwicklung neuer Softwaremodule werden im Vorhaben auch einzelne Prozesse modelltechnisch studiert. Dazu zählt etwa das Eindringen von Wasserstoffgas in unverritztes d.h. intaktes Salzgestein unter Druck, wie dies bei einer Lagerung von Abfallbehältern in 300 m tiefen Bohrlöchern (sog. Bohrlochlagerung) der Fall sein könnte. Eine weitere Studie untersucht das Transportverhalten von Fluiden in den Gesteinszonen, die unmittelbar an die sogenannten Streckenverschlüsse im Steinsalz angrenzen. Die Ausmaße und die Porositäten dieser Zonen haben wiederum maßgeblichen Einfluss auf Auflösungs- und Fällungsprozesse und somit auf die Konzentrationen von Radionukliden im Umfeld von Streckenverschlüssen. Eine modelltechnische Studie zur Korrosion von Endlagerbehältern im Tonstein zeigt eine vollständige Abnahme der Porosität des umgebenden Bentonits aufgrund der Korrosionsprodukte an, die in der Folge eine weitere Korrosion ausschließen lässt.

Aktualisierung »Handbuch zur Kritikalität«

Eine wesentliche Anforderung an die Sicherheit beim Umgang mit Kernbrennstoffen außerhalb des Reaktorkerns liegt in der Vermeidung sogenannter Kritikalitätsstörfälle. Zu derartigen Störfällen kann es kommen, wenn beim Umgang – also etwa bei der Verarbeitung von angereichertem Uran, aber auch bei der Zwischen- und Endlagerung ausgedienter Brennelemente – die kritische Masse eines Kernbrennstoffs erreicht oder überschritten wird. In diesem Fall kommt es zu einer nuklearen Kettenreaktion, bei der hohe Energie in Form von Strahlung und Wärme freigesetzt wird.

Das Handbuch zur Kritikalität. Die GRS untersucht Fragestellungen zur Kritikalität, wertet entsprechende Erfahrungen aus dem Betrieb kerntechnischer Anlagen aus und führt Störfallanalysen durch. Ergebnisse dieser Arbeiten werden unter anderem im »Handbuch zur Kritikalität« zur Verfügung gestellt, das die GRS seit 1979 herausgibt und fortlaufend überarbeitet. Das Handbuch, das sich zu einem international anerkannten Standardwerk entwickelt hat, enthält eine Zusammenstellung von grundlegenden Informationen zur Kritikalitätssicherheit und eine umfangreiche Datensammlung zur Kritikalität für verschiedene Kernbrennstoffe.

Aktuelle Überarbeitung. Ein wesentlicher Bestandteil der Datensammlung sind sogenannte kritische Parameter. Dabei handelt es sich beispielsweise um Angaben zu Massen, Volumina oder Zylinderquerschnitten, die – jeweils für bestimmte Stoffe ermittelt – in Bewertungen zur Kritikalitätssicherheit einfließen. In 2012 hat die GRS kritische Parameter für homogene Urandioxid-Wasser-Systeme und für homogene sowie heterogene Urandioxid/Gadoliniumdioxid-Wasser-Systeme neu

berechnet. Ziel dieser Arbeiten war es, die vorhandenen, teilweise älteren Parameterwerte zu überprüfen und ggf. durch aktualisierte Werte zu ersetzen.

Die Berechnungen wurden auf der Grundlage von Rechenverfahren durchgeführt, die in der aktuellen Version des Codepakets »Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation« (SCALE) implementiert sind. Hierzu war es notwendig, diese Rechenverfahren anhand einer ausreichenden Anzahl geeigneter kritischer Benchmark-Experimente zu validieren, d.h. systematische Abweichungen der errechneten Werte von gemessenen experimentellen Werten zu quantifizieren. Dieser Satz an Benchmark-Experimenten wurde unter anderem mit Trendanalysen über neutronenphysikalische Parameter wie Anreicherung oder Moderationsverhältnis, sowie mittels Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen hinsichtlich nuklearer Wirkungsquerschnittsdaten untersucht und ausgewertet.

Ergebnisse. Durch die Validierungsrechnungen konnte gezeigt werden, dass die eingesetzten Rechenverfahren zur Kritikalität in dem SCALE-Paket den Multiplikationsfaktor derartiger Urandioxid(/Gadoliniumdioxid)-Wasser-Systeme geringfügig überschätzen. Für die kritischen Parameterwerte im Handbuch bedeutet dies, dass ein zusätzlicher Sicherheitsabstand vorhanden ist und deren Konservativität gegeben ist. Die entsprechenden Aktualisierungen im »Handbuch zur Kritikalität« werden voraussichtlich im Laufe des Jahres 2013 veröffentlicht.



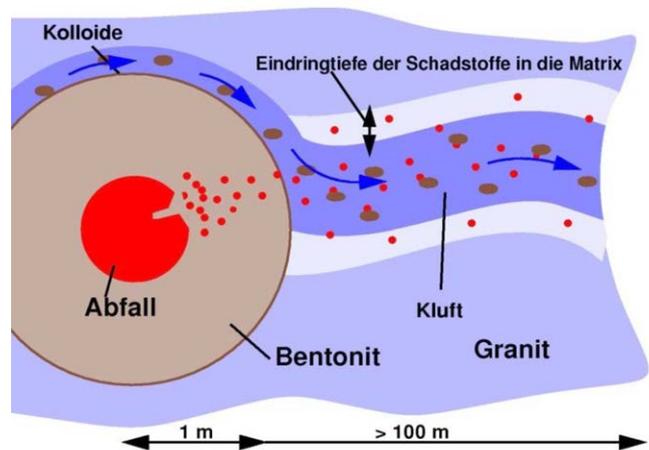
Sogenannter Stangenabschnitt aus hochangereichertem Uran (Foto: Wikipedia Commons / HEUranium)

CFM Projekt – Forschung zum Einfluss von Bentonit-Kolloiden auf den Nuklidtransport in Endlagern

Gefördert mit Mitteln des Bundeswirtschaftsministeriums beteiligt sich die GRS an dem internationalen Forschungsprojekt »Colloid Formation and Migration« (CFM). Zusammen mit Forschern weiterer Fachorganisationen aus Deutschland (KIT-INE), Finnland (POSIVA), Großbritannien (NDA), Japan (JAEA, CRIEPI), Korea (KAERI), Schweden (SKB), der Schweiz (NAGRA) und den USA (U.S. DOE) untersuchen Fachleute der GRS im Felslabor Grimsel der NAGRA die Entstehung und das Verhalten von Bentonit-Kolloiden und ihren Einfluss auf den Transport von Radionukliden in Endlagern.

Entstehung und Bedeutung von Bentonit-Kolloiden. Als Kolloide werden Teilchen bezeichnet, die etwa 1 bis 1.000 Nanometer groß sind und in einem Dispersionsmedium – etwa einer Flüssigkeit – fein verteilt sind. Kolloide sind in allen natürlichen Gewässern vorhanden. In einem Endlager für radioaktive Abfälle können Kolloide darüber hinaus u. a. bei Eindringen von Süßwasser in den Endlagerbereich durch Erosion von Bentonit entstehen. Bentonit ist ein hauptsächlich aus dem Tonmineral Montmorillonit bestehendes Gestein, das beispielsweise zum Verfüllen der Hohlräume um die Abfallbehälter als so genannter Buffer verwendet wird.

Kolloide haben eine im Verhältnis zum Volumen große Oberfläche. Bestimmte physikalische und chemische Eigenschaften der Kolloide können in einem Endlager für radioaktive Abfälle den Transport von Radionukliden in Lösungen verstärken. Die Entstehung und das Verhalten insbesondere von Bentonit-Kolloiden haben damit potenziell eine große Bedeutung für die Langzeitsicherheit eines Endlagers. Dies gilt vor allem dann, wenn ein Endlager im Wirtsgestein Granit errichtet werden soll. Grund dafür ist, dass bei Granit – anders als z. B. bei Salz – wegen seiner Klüftigkeit die Barrierewirkung des Wirtsgesteins nicht auf einer möglichst vollständigen Isolation der Abfälle, sondern im Fall einer Radionuklidfreisetzung aus dem Behälter auch auf der Rückhaltung der Radionuklide durch deren Sorption an dem Wirtsgestein, bzw. Klüftfüllmate-



Schematische Darstellung des Kolloid-getragenen Transports von Radionukliden in geklüftetem Gestein (Abbildung: GRS)

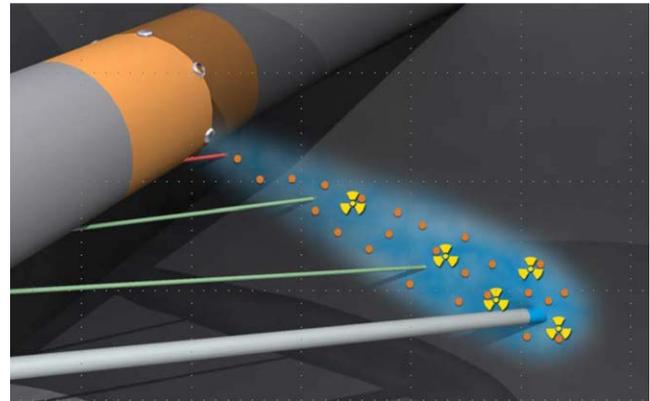
rial beruht. Diese Sorption kann durch Bentonit-Kolloide verringert werden. Dies ist insbesondere deshalb von Bedeutung, da die Radionuklide in den Klüften des Granits advektiv mit dem Wasser transportiert werden. Im Falle eines eher diffusiven Transports in Tonformationen ist der Einfluss von Kolloiden geringer.

In-situ-Versuche. Im Rahmen des Projekts CFM werden im Felslabor Grimsel Versuchsreihen durchgeführt, mit denen das Verständnis der relevanten Prozesse bei der Entstehung von Bentonit-Kolloiden und dem Kolloid-getragenen Transport von Radionukliden vertieft werden soll. In Dipolversuchen werden zunächst Mischungen aus Wasser, das aus der dortigen Felsformation stammt, mit Bentonit-Kolloiden und Radionukliden bzw. Homologen hergestellt. Bei den Homologen handelt es sich um Stoffe, die chemisch den bei der Endlagerung relevanten Radionukliden sehr ähnlich sind. Die Mischungen werden über ein Injektionsbohrloch in eine Scherzone im Umgebungsgestein eingebracht. Danach werden an weiteren Bohrungen – den Extraktionsbohrlöchern – wiederholt in Zeiträumen bis zu einigen Wochen Wasserproben aus dem Fels gezogen. Die anschließende Analyse dieser Proben erlaubt Aussagen darüber, welche Mengen mit Homologen behafteter Kolloide in welcher Zeit über die Strecke zwischen den Bohrlochern transportiert wurden. Um einen Vergleichsmaßstab zu erhalten, werden entsprechende Versuche auch mit sogenannten idealen Tracern durchgeführt. Damit werden

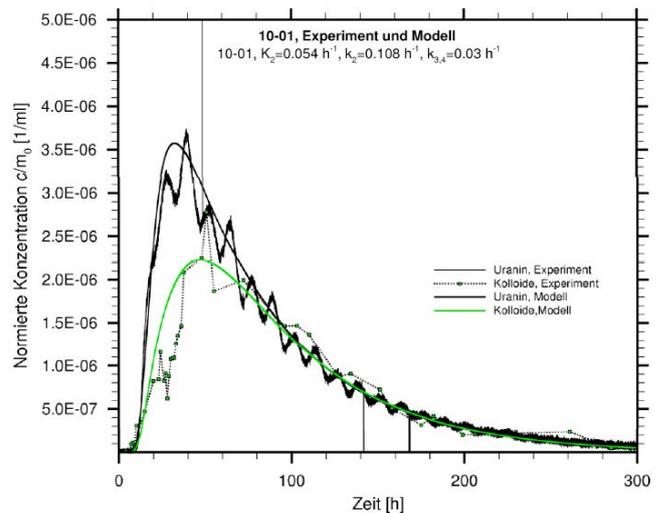
in diesem Zusammenhang bestimmte Stoffe bezeichnet, die aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften mit der gleichen Geschwindigkeit wie das im Fels befindliche Wasser transportiert werden.

Arbeiten der GRS. Die Arbeiten der GRS zielen auf eine Qualifizierung und Weiterentwicklung von Rechenmodellen, die die langzeitsicherheitsrelevanten Transportprozesse beschreiben, ab. Simulationsprogramme auf der Grundlage derartiger Modelle werden benötigt, um die Langzeitsicherheit eines Standorts bzw. eines Endlagers bewerten und ggf. nachweisen zu können. In einem ersten Schritt haben die Forscher dazu die für die Transportprozesse wesentlichen Komponenten, d. h. beispielsweise den Transport von Kolloiden, deren Sorption und Filtration im Gestein, den Transport der relevanten Schadstoffe sowie die relevanten Wechselwirkungen in das Transportprogramm *r3t* (radionuclides, reaction, retardation, and transport) implementiert. Auf dieser Grundlage wurden dann in einem zweiten Schritt verschiedene reale Versuche nachmodelliert bzw. Vorhersagerechnungen durchgeführt. Der Vergleich der Ergebnisse erlaubt Aussagen darüber, wie realitätsnah die Modellierung ist, welche Anpassungen des Modells erforderlich sind und welche Prozesse beim Transport von Bedeutung sind.

Erste Ergebnisse. Beim Vergleich der bisherigen Simulationsergebnisse mit den Ergebnissen der Feldexperimente konnte eine in weiten Teilen gute Übereinstimmung festgestellt werden. Mit dem gewählten Modell konnte unter anderem bereits festgestellt werden, dass die Filtration von Kolloiden einen relevanten Einfluss auf den Transport der Homologe hatte und für unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten mit einer konstanten Rate beschreibbar ist. Auch konnte gezeigt werden, dass die Desorption der Homologe – d. h. deren Ablösung von den Kolloiden – den Homologtransport auf der Zeitskala der Experimente maßgeblich beeinflusst und dass die Desorptionsrate mit zunehmender Transportzeit ansteigt.



Idealisierte Darstellung des Versuchsaufbaus im Felslabor Grimsel mit den von der Strecke ausgehenden Injektions- und Extraktionsbohrlöchern (Abbildung: NAGRA, www.grimsel.com)



Der Vergleich der Ergebnisse des Versuchs CFM-RUN 10-01 und der entsprechenden Modellrechnungen zeigt eine gute Übereinstimmung. Darüber hinaus wird deutlich, dass die Filtration als irreversible Wechselwirkung die bei der Extraktion wiedererhaltene Menge an Kolloiden und Homolog mit konstanter Rate reduziert wird. Zusätzlich führt die Desorption zu einer weiteren Reduktion des Wiedererhalts der Homologen (Abbildung: GRS)

Strahlenschutz

➔ Mensch und Umwelt sind permanent einer natürlichen ionisierenden Strahlung ausgesetzt, die aus der Atmosphäre stammt und aus dem geologischen Untergrund freigesetzt wird. Durch zivilisatorische Entwicklungen, unter anderem durch die Forschung, die Nutzung der Kernkraft, industrielle Prozesse und medizinische Maßnahmen, ergibt sich zusätzlich eine zivilisatorische Strahlenexposition. Diese Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten und Mensch und Umwelt vor den negativen Auswirkungen ionisierender Strahlung beim Umgang mit radioaktiven Stoffen und anderen Strahlenquellen zu schützen, ist das übergeordnete Ziel des Strahlenschutzes. Um dieses Ziel zu erreichen, arbeitet die GRS im Strahlenschutz eng mit den Disziplinen Reaktorsicherheit und Entsorgung zusammen.

Zu den Aufgaben der GRS gehört es unter anderem, Modelle zur radiologischen Konsequenzenanalyse zu entwickeln, mit denen sich die Ausbreitung luftgetragener radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre ermitteln lässt. Wie sich diese Stoffe in der Umwelt verhalten und welche Wechselwirkungen es gibt, zeigen radioökologische Untersuchungen. Beim angewandten Strahlenschutz steht der Schutz beruflich strahlenexponierter Personen im Vordergrund, bei dem die GRS Strahlenbelastungen analysiert, bewertet und gezielte Empfehlungen zu deren zukünftigen Reduktion ausspricht.

Um den Schutz der Bevölkerung außerhalb kerntechnischer Anlagen geht es beim Notfallschutz. In diesem Zusammenhang organisiert die GRS zum Beispiel realitätsnahe Übungen. Für den Transport von radioaktiven Abfällen, wie abgebrannte Brennelemente, Medikamente und sonstige Gebrauchsgüter, die radioaktive Stoffe enthalten, erstellt die GRS Transportsicherheitsanalysen.

Mit dem Ausstiegsbeschluss des deutschen Bundestages aus der Kernenergienutzung rückt ein weiterer strahlenschutzrelevanter Aufgabenbereich der GRS stärker in den Mittelpunkt des Interesses: die Stilllegung kerntechnischer Anlagen. Auch hierbei gilt es, Strahlenschutzmaßnahmen einzuhalten.



(Foto: GRS)

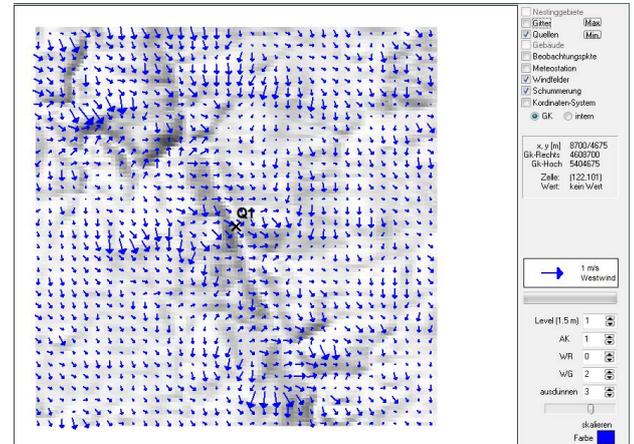
ARTM – Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell

Kerntechnische Anlagen leiten während ihres Betriebs minimale Mengen radioaktiver Stoffe über die Luft und das Abwasser in die Biosphäre ab. Diese Ableitung ist in ihrer Höhe durch den § 47 der Strahlenschutzverordnung begrenzt. Nach dieser Norm dürfen solche Ableitungen bei einer Einzelperson der Bevölkerung nur zu einer maximalen effektiven Dosis von 0,3 Millisievert pro Jahr führen. Die Ableitungen radioaktiver Stoffe und die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte unterliegen der stetigen Beobachtung durch die Aufsichtsbehörden und ihrer Gutachter.

Was ist ARTM? ARTM ist ein von der GRS und dem Ingenieurbüro Janicke entwickeltes Programmsystem, das die atmosphärische Ausbreitung und Ablagerung in Luft freigesetzter, radioaktiver Stoffe simuliert. So berücksichtigt es z.B. die aktuellen Vorgaben der Verwaltungsvorschrift »Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)« des Bundes-Immissionsschutzgesetzes.

Mit Hilfe des vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) entwickelten Dosismoduls DARTM lässt sich aus den mittels ARTM berechneten Konzentrationsfeldern der Radionuklide die maximale Zusatzbelastung bestimmen. Das Dosismodul ist im neuen Programmpaket GO-ARTM 1.09 enthalten.

Entwicklung: Von AUSTAL2000 zu GO-ARTM. ARTM baut auf dem Programmpaket AUSTAL2000 auf. Dieses wurde für die Ausbreitung konventioneller, also nicht-radioaktiver Luftbeimengungen konzipiert und verwendet ein fortschrittliches Lagrangesches Partikelmodell in Kombination mit einem diagnostischen Strömungsmodell. Die GRS war im Auftrag des Umweltbundesamtes an der Entwicklung von AUSTAL2000 beteiligt. Mit GO-AUSTAL hatte die GRS bereits 2000 eine



Visualisierung eines Windfeldes mittels GO-ARTM (Abbildung: GRS)

benutzerfreundliche Bedienoberfläche für AUSTAL2000 entwickelt.

ARTM wurde für luftgetragene radioaktive Stoffe angepasst und erweitert: Dazu wurden u.a. Algorithmen zur Berücksichtigung der Gamma-Wolkenstrahlung sowie des gesamten Prozesses von der Wolkenbildung bis zum Niederschlag – der sogenannten nassen Deposition – entwickelt und in den bestehenden Quellcode der Version 2.2.11 von AUSTAL2000 implementiert. Damit zeichnet sich ARTM durch flexible und realitätsnahe Berechnungen der räumlichen Verteilungen von Radionuklidkonzentrationen sowie trocken und nass abgelagerten Radionukliden aus. Zum Programmpaket von ARTM gehört inzwischen standardmäßige die von der GRS entwickelte graphische Bedienoberfläche GO-ARTM 1.09. Mit dieser lassen sich ARTM 2.6.4 und DARTM Berechnungen benutzerfreundlich steuern und auswerten. Gefördert wurde die Entwicklung und Implementierung von ARTM und GO-ARTM vom BfS.

Kostenfreier Download. Die aktuelle Version [1.09 von GO-ARTM](#) steht allen interessierten Personen und Institutionen zum Download zur Verfügung.

Stilllegung kerntechnischer Anlagen

Nachdem eine kerntechnische Anlage (z.B. Kernkraftwerke, Forschungsreaktoren etc.) endgültig abgeschaltet wird, folgt im Allgemeinen deren Stilllegung. Der Begriff der Stilllegung bezeichnet hierbei im technischen Sinne den gesamten Prozess ab der Erteilung der Stilllegungs-genehmigung bis zum vollständigen Abbau der Anlage. Dies bedeutet in der Regel, alle Anlagen- und Gebäudeteile zu entfernen und den natürlichen Ausgangszustand in Form der sogenannten »Grüne Wiese« wiederherzustellen.

Das gesamte radioaktive Inventar der kerntechnischen Anlage ist dann entfernt und eine behördliche, d. h. atomrechtliche Überwachung des Standorts nicht mehr notwendig. Erfahrungsgemäß dauert die Stilllegung eines Kernkraftwerks zwischen zehn und 20 Jahre.

Stilllegungsstrategien. In Deutschland werden zwei unterschiedliche Stilllegungsstrategien verfolgt. Bei einem direkten Abbau wird die Anlage nach der endgültigen Abschaltung unmittelbar abgebaut. Bei einem sicheren Einschluss hingegen wird die Anlage nach dem endgültigen Abschalten und Entfernen des Kernbrennstoffs in einen weitgehend wartungsfreien Zustand überführt. In diesem Zustand verweilt sie für einen gewissen Zeitraum (z.B. für 30 Jahre), bevor sie schließlich abgebaut wird. Beide Strategien haben Vor- und Nachteile, die im Einzelfall gegeneinander abgewogen werden müssen.

GRS-Arbeiten zur Stilllegung. Die GRS verfolgt aktuelle Fragestellungen und Entwicklungen der Stilllegung kerntechnischer Anlagen. Schwerpunktmäßig ist sie dabei für deutsche Behörden tätig.

Die GRS führt folgende Arbeiten durch:

- /// Beratung und Begutachtung konkreter übergeordneter technischer und rechtlicher Fragestellungen
- /// Unterstützung bei der Regelwerkentwicklung
- /// Fortschrittsverfolgung und Dokumentation von Stilllegungsprojekten
- /// Know-how Transfer durch Seminare, Coaching, Aufbereitung spezieller Fragestellungen



Die Stilllegung kerntechnischer Anlagen ist ein komplexer Prozess, in dem verschiedene Fachfragen betrachtet und koordiniert werden müssen (Abbildung: GRS)

Internationale Zusammenarbeit. Die GRS unterstützt ausländische Behörden und trägt dazu bei, dass bei der Stilllegung kerntechnischer Anlagen ein hoher Sicherheitsstandard erreicht wird.

Eine große Rolle spielen hierbei die von der Europäischen Kommission vergebenen Projekte zur Weiterentwicklung der nuklearen Sicherheit in den osteuropäischen Staaten. Hier tritt die GRS als Partner ihrer Tochtergesellschaft RISKAUDIT gemeinsam mit verschiedenen internationalen Sachverständigenorganisationen auf und bringt ihre Erfahrungen ein.

Stilllegung im Überblick. Die Stilllegung kerntechnischer Anlagen ist eine Aufgabe, der sich die Kernenergie-länder stellen müssen. Insgesamt wurden nach Angaben der IAEA von 2011 bisher über 500 Reaktoren und etwa 275 Anlagen der Ver- und Entsorgung außer Betrieb genommen.

Momentan befinden sich in Deutschland 16 kerntechnische Anlagen in unterschiedlichen Phasen der Stilllegung (z.B. die Kernkraftwerke Stade, Obrigheim und Greifswald). Darüber hinaus wurden das Kernkraftwerk Niederaichbach, der Heißdampfreaktor in Großwelzheim und das Versuchsatomkraftwerk Kahl bereits vollständig abgebaut und aus der atomrechtlichen Überwachung entlassen. Ihre Stilllegung ist somit abgeschlossen.

Umweltschutz

➔ Auf den Gebieten Endlagersicherheitsforschung, Strahlenschutz und Reaktorsicherheit verfügt die GRS über mehr als 30 Jahre Erfahrung. Einige Methoden, die sich im Laufe der Zeit in diesen Arbeitsfeldern etabliert haben, finden mittlerweile auch Anwendung in Fachgebieten außerhalb der Kerntechnik.

Wenn es beispielsweise um die langfristige Sicherheit der untertägigen Entsorgung chemisch-toxischer Abfälle geht, untersucht die GRS unter anderem potenzielle geochemische und geotechnische Prozesse in einer Untertagedeponie bis hin zu möglichen Auswirkungen von Schadstofffreisetzungen in die Biosphäre. Auch im Rahmen der Untersuchungen zur untertägigen Lagerung von CO₂ kommen Methoden aus der Endlagersicherheitsforschung zum Tragen. Mit deren Hilfe können geochemische und geomechanische Prozesse in einer Lagerstätte untertage abgebildet und untersucht werden. So soll verhindert werden, dass das Treibhausgas aus der Lagerstätte entweicht und die Lagerung zu Umweltschäden führt.

Zu den jüngeren Aufgabenfeldern der GRS zählt die Geothermie. Hier können Wissen und Methoden zu geophysikalischen und geochemischen Prozessen eingebracht werden. Gleichzeitig kommen aber auch probabilistische Methoden zum Einsatz, die aus der Reaktorsicherheit abgeleitet wurden.

Auch Fragen zu Vorkommen und Verbreitung von Schadstoffen beschäftigen die GRS. Sie unterstützt beispielsweise internationale Strategien zur Vermeidung von Quecksilber und hat in Zusammenarbeit mit zwei weiteren Fachinstitutionen eine Studie zu diesem Thema veröffentlicht.



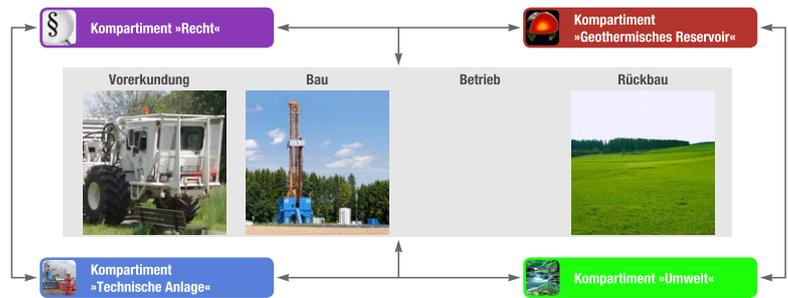
(Foto: © fotolia.de / Andrey Kuzmin)

Projekt GeoSys – Systemanalyse der geothermalen Energieerzeugung

Seit Anfang 2011 befassen sich in der GRS Mitarbeiter verschiedener wissenschaftlicher Fachrichtungen im Projekt *GeoSys* mit der Erarbeitung einer interdisziplinären Systemanalyse der geothermalen Energieerzeugung im Bereich der sogenannten Tiefen Geothermie. Ziel des Projekts, das mit Mitteln des Bundesumweltministeriums (*BMU*) gefördert wird, ist die Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur Vermeidung oder Verringerung von Umweltbeeinträchtigungen und technischen und wirtschaftlichen Risiken.

Grundlage: Ermittlung von Schutzgütern, Prozessen und Wirkfaktoren. In einem ersten Schritt haben die Wissenschaftler sowohl die relevanten Schutzgüter – beispielsweise Gesundheit, Wasser, Boden, etc. – als auch die Prozesse und Wirkfaktoren ermittelt, die diese Schutzgüter beeinflussen können. Zu den Prozessen und Wirkfaktoren gehören etwa Emissionen von Lärm und Schadstoffen, geomechanische Ereignisse wie Erschütterungen und Geländeabsenkungen ebenso wie Aspekte der Arbeitssicherheit. Parallel zur technisch-wissenschaftlichen Analyse entsprechender Daten wurde der aktuelle rechtliche Rahmen aus gesetzlichen Regelungen, der Verwaltungspraxis und technischen Regelwerken untersucht.

Beispiel Detailanalyse: Strahlenexpositionen. Die genannten Untersuchungen bilden die Grundlage für detailliertere Analysen von Phänomenen aus der Betriebsphase einer Geothermieanlage, die sich auf die ermittelten Schutzgüter auswirken können. Ein Beispiel für eine solche Detailanalyse stellen die Arbeiten zur Ermittlung potenzieller Strahlenexpositionen der Beschäftigten der Anlage und der Bevölkerung in der näheren Umgebung dar. Einige Standorte von Geothermieanlagen



Konzeption des Projekts GeoSys: Grundlage der interdisziplinären Analyse ist die Aufteilung des Gesamtsystems in sogenannte Kompartimente, d. h. räumlich oder funktionell abgegrenzte Betrachtungsbereiche. (Grafik: GRS)

zeichnen sich durch eine erhöhte Aktivitätskonzentration natürlicher Radionuklide in dem geförderten Thermalwasser aus. Infolge von Druck- und Temperaturänderungen kommt es während des Betriebs zur Fällung von Mineralien, die hohe Aktivitätskonzentrationen natürlicher Radionuklide (insb. Blei- und Radiumisotope) aufweisen. Je nach Standort der Anlage variiert die spezifische Aktivität in den Ausfällungen zwischen unter 1 Bq/g bis über 1.000 Bq/g.

Im Rahmen des Projekts wurden am Beispiel einer Region in Süddeutschland die Strahlenexpositionen ermittelt, die für verschiedene Anlagenzustände – d. h. sowohl für den normalen Betrieb als auch bei bestimmten technischen Störungen – zu erwarten sind. Neben deterministischen Untersuchungen wurden dazu probabilistische Analysen durchgeführt; diese Methodik wurde von der GRS für den Bereich der Kerntechnik (dort bezeichnet als Probabilistische Sicherheitsanalyse, kurz: PSA) bereits in den 1970er-Jahren in Deutschland eingeführt und seitdem weiterentwickelt. Bei diesen Analysen werden alle relevanten Expositionsszenarien in einem Ereignisbaum detailliert beschrieben und hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit

quantifiziert. In dem betrachteten Beispiel liegen die zu erwartenden Dosiswerte für die Beschäftigten deutlich unter dem Grenzwert der Strahlenschutzverordnung (*StrlSchV*) für beruflich strahlenexponierte Personen, lassen jedoch weitergehende Maßnahmen des Strahlenschutzes im Sinne einer Optimierung sinnvoll erscheinen. Die für die Bevölkerung ermittelten Dosiswerte unterschreiten die einschlägigen Grenzwerte der *StrlSchV* ebenfalls deutlich.

Diese und weitere Zwischenergebnisse des Projekts *GeoSys* wurden im März 2012 in einem Fachworkshop vorgestellt. An dem Workshop nahmen Vertreter von Behörden, Forschungseinrichtungen und Betreibern von Geothermieanlagen teil. Weitere Workshops sollen bis zum Ende des Projekts Ende Dezember 2013 stattfinden. Die Ergebnisse des Vorhabens werden in Projektberichten u. a. auf der Website der GRS veröffentlicht.

Weitere Forschungsaktivitäten zur Geothermie. Neben *GeoSys* bearbeitet die GRS derzeit zusammen mit dem Deutschen Geo-Forschungs-Zentrum Potsdam und dem Institut für Anorganische Chemie der Technischen Universität Bergakademie Freiberg das Verbundvorhaben *GeoDat*. Ziel des Projekts, das ebenfalls vom *BMU* finanziert wird, ist der

Aufbau einer thermodynamischen Datenbasis zur Berechnung komplexer geochemischer Prozesse in tiefen geothermischen Schichten des norddeutschen Beckens. Die GRS bringt in dieses Vorhaben ihre Expertise bei der Ermittlung von Daten und Parametern für die thermodynamische Modellierung ein. Das Geowissenschaftliche Labor des Endlagerforschungszentrums der GRS verfügt über umfangreiche Erfahrungen mit den besonderen experimentellen Anforderungen in Verbindung mit hochsalinaren Lösungen, die für das Projekt relevant sind.

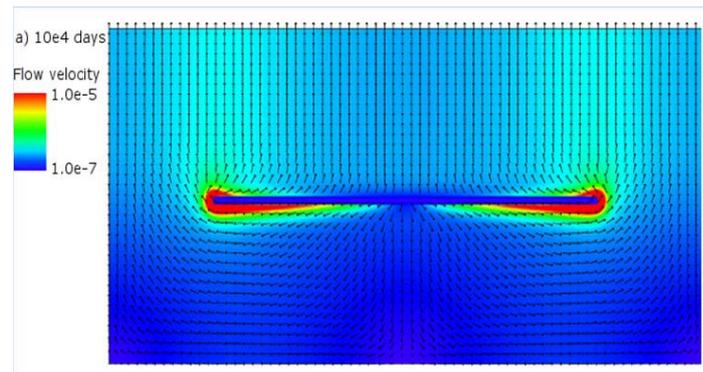
Zusammen mit der Universität Göttingen und dem Energieversorger EnBW entwickelt die GRS ein Konzept für ein Verbundprojekt zum Thema Anlagenmonitoring. Ziel des Projekts soll die Entwicklung und Anwendung neuer Methoden für das Monitoring von Geothermiekraftwerken sein. Durch ein solches Monitoring sollen die in-situ-Verhältnisse im untertägigen Reservoir und der Anlage selbst bestimmt und deren Änderungen prognostiziert werden können. Dazu sollen in dem Projekt unter anderem Probenahmetechniken und Analysemethoden entwickelt werden, die die Interpretation übertägig aufgezeichneter Messwerte hinsichtlich der Vorgänge im Reservoirbereich ermöglichen.

Erweiterung von Simulationscodes zur Grundwasserbewegung und zum Schadstofftransport für nicht-nukleare Anwendungen

In ihren Arbeitsfeldern Reaktorsicherheit, nukleare Entsorgung und Strahlenschutz hat die GRS zahlreiche Simulationsprogramme entwickelt, mit denen relevante Phänomene – etwa schwere Unfälle in Kernkraftwerken oder die atmosphärische Ausbreitung von Radionukliden – untersucht und prognostiziert werden können. Einige dieser sogenannten Codes beruhen auf der rechnerischen Modellierung von Prozessen, die auch für die Untersuchung sicherheitstechnischer Fragestellungen in nicht-nuklearen Technikbereichen relevant sind. Seit einigen Jahren zielt die Weiterentwicklung verschiedener Programme zunehmend auch auf die Erweiterung des jeweiligen Anwendungsbereichs auf solche nicht-nuklearen Applikationen ab.

Aktuelle Erweiterungen der Codes d³f und r³t. In 2012 wurden zwei Rechenprogramme weiterentwickelt, deren Hauptanwendungsbereich bislang auf der Untersuchung von Prozessen lag, die für die Beurteilung der Langzeitsicherheit von Endlagern für radioaktive Abfälle wesentlich sind.

Dabei handelt es sich zum einen um die Codes d³f (*distributed density-driven flow*) und r³t (*radionuclides, reaction, retardation and transport*). Der Code d³f erlaubt die Modellierung von dichtabhängigen Grundwasserströmungen in Gebieten mit komplexen geologischen Strukturen. r³t ermöglicht die Berechnung des Transports von Schadstoffen unter Einbeziehung aller relevanter Rückhalteeffekte und Wechselwirkungen mit anderen Stoffen. Beide Projekte wurden bereits in den vergangenen Jahren in Zusammenarbeit mit Universitätsinstituten weiterentwickelt. Ein Beispiel hierfür ist die Modellierung des Kolloidtransports (vgl. den Beitrag zum Projekt CFM auf Seite 44).



Anwendungsbeispiel einer Simulation des Einflusses von Wärme auf Grundwasserströmungen: Die Simulation zeigt in einem 1 km hohen und 2 km breiten Vertikalschnitt das Strömungsfeld in der Umgebung einer 1,3 km langen Einlagerungsstrecke in einem porösen Medium (z. B. monolithischer Granit) mit wärmeentwickelnden Abfällen; die Abfälle haben in dem Modell rund 27 Jahre nach ihrer Einlagerung an der gesamten Oberfläche der Strecke eine Temperatur von 200 °C erzeugt (Abbildung: GRS)

Die aktuellen Erweiterungen betreffen zum einen die Simulation des Wärmetransports neben dem Transport gelöster Salze. Damit lässt sich nun berücksichtigen, wie Wärme – etwa durch wärmeentwickelnde Abfälle verursacht – die Strömung des Grundwassers und, daraus resultierend, den Transportweg für Schadstoffe beeinflusst. Zum anderen wurden beide Codes so erweitert, dass auch Anwendungsfälle mit freier Grundwasser-oberfläche und in Kluftgestein (z.B. Granit) berechnet werden können.

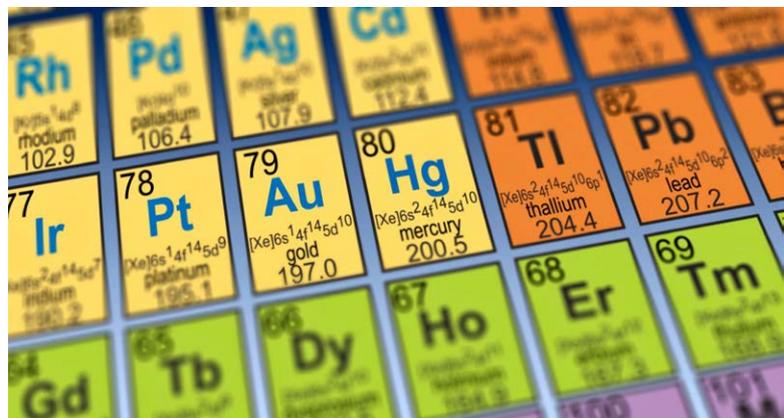
Mögliche nicht-nukleare Anwendungen. Durch die Erweiterungen können die Programme in verschiedensten nicht-nuklearen Bereichen eingesetzt werden. Fragen zum Transport von Schadstoffen in geologischen Formationen bzw. im Grundwasser stellen sich beispielsweise bei der untertägigen Deponierung konventioneller chemisch-toxischer Abfälle; zu diesem Themenkomplex hat die GRS bereits verschiedene Forschungsarbeiten durchgeführt. Weitere Anwendungsfälle finden sich beispielsweise im Bereich der Geothermie zur Stromerzeugung (vgl. den Beitrag zum Projekt GeoSys in diesem Kapitel) oder bei der Untersuchung des Einflusses von Grundwasserversalzung auf die Trinkwassergewinnung.

Untersuchungen zur Vermeidung und Entsorgung von Quecksilber

Quecksilber ist eines der ersten vom Menschen genutzten Schwermetalle. Einsatz findet Quecksilber weltweit in der chemischen Industrie, beim Goldbergbau sowie bei Produkten wie Batterien, Lampen und Messgeräten. Schätzungsweise eine Million Tonnen Quecksilber sind durch den Menschen in den letzten 500 Jahren in die Umwelt gelangt. Derzeit kommen jährlich ca. 3.200 bis 4.300 Tonnen hinzu. Während die Verwendung von Quecksilber in der EU durch entsprechende Regelungen weitgehend eingeschränkt wurde, ist der Schadstoff gerade in vielen Schwellen- und Entwicklungsländern immer noch weit verbreitet.

Die GRS hat sich in den vergangenen Jahren in verschiedenen Projekten des Bundesumweltministeriums (BMU) und des Umweltbundesamts (UBA) sowie der Europäischen Kommission und des Umweltprogramms der Vereinten Nationen Studien mit verschiedenen Aspekten des Schadstoffs befasst. Die Themen der Forschungsarbeiten reichen von Untersuchungen zur weltweiten Verbreitung und Substitution quecksilberhaltiger Produkte über die wissenschaftlichen Grundlagen der Entsorgung von Abfällen bis zur Behandlung kontaminierter Flächen. Im Jahr 2012 hat die GRS zwei Projekte bearbeitet, die mit Mitteln des BMU bzw. des UBA gefördert wurden.

Untersuchungen zur untertägigen Deposition in Salzgestein Im Forschungsprojekt *QUIS* untersucht die GRS das Verhalten von Quecksilber und Quecksilberverbindungen bei einer untertägigen Ablagerung in Salzformationen. Hintergrund ist der zukünftige Bedarf an Lagerkapazitäten für eine dauerhafte Entsorgung großer Mengen dieser Stoffe. Eine europäische Verordnung aus dem Jahr 2008 verbietet die Ausfuhr von Quecksilber



In Form von Dämpfen eingeatmet, wirkt Quecksilber (Hg) stark toxisch. Bereits bei Zimmertemperatur gibt Quecksilber solche Dämpfe ab (Abbildung: @ istockphoto / JacobH)

und quecksilberhaltigen Stoffen und schreibt die dauerhafte Lagerung für überschüssiges Quecksilber vor. Damit werden in den kommenden 40 Jahren EU-weit etwa 11.000 t metallisches Quecksilber zu entsorgen sein, das in der Chlor-Alkali-Industrie nicht mehr genutzt wird oder bei der Nichteisenmetallproduktion sowie der Gasreinigung anfällt.

Eine Option zur Beseitigung ist die dauerhafte Lagerung in Untertagedeponien (UTD) im Salzgestein. Bislang war metallisches Quecksilber als Flüssigkeit von einer Ablagerung in UTD ausgeschlossen. Vor einer Zulassung der Deponierung in UTD in Salzformationen ist es notwendig, die besonderen Herausforderungen zu untersuchen, die sich aus den spezifischen Eigenschaften des metallischen Quecksilbers (flüssiger Zustand, Bildung toxischer Gase, aufwendige Reinigung kontaminierter Flächen) für die Entsorgungspraxis ergeben. Im dem Projekt wurde dazu das Verhalten von Quecksilber, Quecksilberverbindungen und realen Quecksilberabfällen gegenüber bestimmten Salzlösungen experimentell und modellhaft untersucht. Schwerpunkte der Untersuchungen waren die Analyse des Reaktionsverhaltens von Quecksilberabfällen im Fall des Zutritts von Wasser und salinaren Lösungen, die Freisetzung von

toxischen Quecksilbergasen und die Mobilität von metallischem Quecksilber unter den entsprechenden Einlagerungsbedingungen. Auch die Analyse des geomechanischen Verhaltens von Quecksilber war Bestandteil der Untersuchungen. Neben den Schadstoffverbindungen wurden auch die für ihre Lagerung vorgesehenen Behälter in die Betrachtung mit einbezogen.

Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass auf Basis des heutigen Kenntnisstandes eine sichere Dauerlagerung von metallischem Quecksilber in Untertagedeponien im Salzgestein grundsätzlich umsetzbar ist. So ist im Normalbetrieb der UTD nicht mit einer Beeinträchtigung der Betriebssicherheit zu rechnen. Um das Risiko einer unfallbedingten Freisetzung flüssigen und gasförmigen Quecksilbers zu minimieren, sollten jedoch bestimmte technische und organisatorische Maßnahmen getroffen werden. Hierzu wurde in dem Projekt eine Reihe von Empfehlungen entwickelt. Diese betreffen beispielsweise eine für die Betriebsphase störfallsichere Auslegung der Transport- und Lagerbehälter und eine Auslagerung der stofflichen Eingangskontrolle zum Abfallerzeuger. Empfohlen werden zudem eine kampagnenweise Einlagerung von Behältern und der unverzügliche Verschluss von Einlagerungsabschnitten. Nach Verschluss der gesamten UTD gehen bei planmäßiger Entwicklung des UTD-Gesamtsystems vom abgelagerten Quecksilber keine spezifischen Umweltrisiken aus. Die Untersuchungen zum Lösungsverhalten haben gezeigt, dass bei einem Zutritt von Lösungen an die Abfälle im Fall von unplanmäßigen Entwicklungen die niedrige Löslichkeit reinen metallischen Quecksilbers als innere Barriere wirkt.

Wissenschaftliche Beiträge zur Entwicklung internationaler Strategien In einem weiteren Vorhaben befasst sich die GRS mit der



Gedenkstätte für die Opfer der Verklappung von Methylquecksilberiodid in der Nähe der japanischen Stadt Minamata. Dort erkrankten in den 1950er-Jahren viele Tausend Menschen an den Folgen einer chronischen Quecksilber-Vergiftung (sog. Minamata-Krankheit), schätzungsweise 3.000 Menschen starben daran. Das internationale Quecksilber-Abkommen von 2013 wird als Minamata-Konvention bezeichnet (Foto: WikimediaCommons / Hyolee2)

Bewertung regulatorischer und nicht-regulatorischer Maßnahmen im Zusammenhang mit Quecksilber und persistenten organischen Schadstoffen im Hinblick auf deren Wirksamkeit, technischer Effizienz und ökonomischen Machbarkeit. Die untersuchten Fragestellungen umfassen die Verwendung dieser Substanzen in Produkten und Prozessen sowie verwendungsbezogene Emissionen ebenso wie die Entsorgung und die Vermeidung bzw. Behandlung schadstoffhaltiger Abfälle.

Die Ergebnisse des Vorhabens sind – ebenso wie die wissenschaftlichen Beiträge aus vorangegangenen Projekten der GRS – mit in die Entwicklung eines globalen Übereinkommens zur Vermeidung von Quecksilber-Emissionen eingeflossen. Dieses als Minamata-Konvention (Minamata Convention on Mercury) bekannte Abkommen wurde auf einer Konferenz in Japan im Oktober 2013 von mehr als 90 Staaten unterzeichnet.

Entwicklung eines thermodynamischen Modells für Zink, Blei und Cadmium in salinaren Lösungen

Oberirdische und untertägige Abfalldeponien sowie andere industrielle Altlasten enthalten große Mengen an Schwermetallen und anderen toxisch wirkenden Stoffen. Kommen diese mit Wasser in Berührung, kann es zu einer Mobilisierung dieser Schadstoffe und in der Folge zu einer Gefährdung oder Belastung von Grund- und Trinkwasserressourcen kommen.

Um das Risiko einer solchen Gefährdung abschätzen oder bereits bestehende Belastungen wirksam verringern zu können, ist eine möglichst genaue Kenntnis der beim Wasserzutritt ablaufenden physikalischen und chemischen Prozesse notwendig. Voraussetzung für quantitative Prognosen der Schadstoffmobilisierung ist dabei auch, dass für die jeweiligen Stoffe eine durch Experimente abgesicherte thermodynamische Datenbasis vorliegt. In einem durch das Bundesforschungsministerium geförderten Forschungsprojekt wurden im geowissenschaftlichen Labor der GRS in Braunschweig umfangreiche Arbeiten zur Entwicklung einer solchen Datenbasis für die Schadstoffe Zink, Cadmium und Blei durchgeführt.

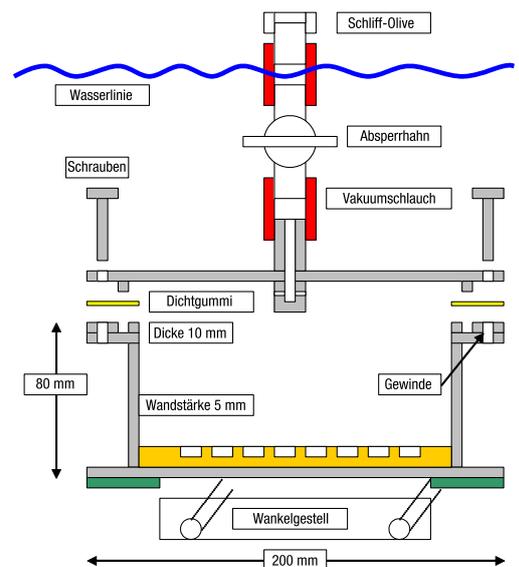
Relevanz der ausgewählten Schadstoffe. Diese Schwermetalle sind gut mobilisierbar und – in Abhängigkeit von der aufgenommenen Dosis – in unterschiedlichen Graden gesundheitsgefährdend. Sie sind vor allem in chemisch-toxischen Abfällen aus der Industrie enthalten und beispielsweise in Untertagedeponien, aber auch in Altlasten weit verbreitet und teilweise in hohen Konzentrationen anzutreffen. Kommt es durch Zutritt von Wasser zu einer Auslaugung, können Lösungen entstehen, deren Schadstoffkonzentrationen oberhalb der einschlägigen Grenz- bzw. Richtwerte liegen.

Die Datenbasis, die für die geochemische Modellierung von Lösungen mit hohen Ionenstärken erforderlich ist, wies bislang Lücken auf. Dies galt vor allem für Lösungen im neutralen und basischen pH-Bereich sowie im Hinblick auf die Bildung von Komplexen mit den Anionen salzhaltiger Lösungen.

Methodik und Ergebnisse des Projekts. Die Arbeiten in dem Projekt umfassten neben der Analyse von Literaturdaten umfangreiche experimentelle Untersuchungen. So wurden neben verschiedenen Löslichkeitsversuchen in Zusammenarbeit mit dem Chemischen Institut der Universität Sankt Petersburg auch isopiesticische Versuche durchgeführt. Diese Versuche dienten der Entwicklung einer Datenbasis für neutrale bis saure salinare Lösungen, die Zink, Cadmium und Blei enthalten. Zur Gewinnung von Daten für eine Quantifizierung der Komplexbildung wurden Untersuchungen mithilfe von UV-Messungen (für Blei) sowie mit dem Verfahren der Raman-Spektroskopie angestellt. Ausgewertet wurden die so gewonnenen Daten mit einem eigens dazu neu entwickelten Rechencode.

Die aus den Untersuchungen abgeleitete Datenbasis erlaubt in ihrer jetzigen Form die Bestimmung der Aktivitätskoeffizienten und der Löslichkeit von Zink, Blei und Cadmium in stark mineralisierten sauren bis neutralen Lösungen sowie die Modellierung der Aktivität, der Komplexbildung und der Löslichkeit in schwach mineralisierten Lösungen in sauren, neutralen und basischen Lösungen bei 25°C.

Eine ausführliche Beschreibung des Projekts und seiner Ergebnisse sind in dem Bericht [GRS-219](#) enthalten.



Schematischer Aufbau eines sog. isopiesticischen Topfes. In dem Projekt wurden isopiesticische Messungen zur Untersuchung ungesättigter Lösungen verwendet. (Abbildung: GRS)

Internationale Projekte

➔ Nukleare Sicherheit ist eine globale Herausforderung und verlangt daher die intensive Zusammenarbeit und den Austausch im nuklearen Bereich. Wesentliche Ziele dieser Zusammenarbeit sind die Harmonisierung des Sicherheitsverständnisses im Bereich der Kernenergie, der gegenseitige Erfahrungsaustausch und die Weiterentwicklung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik. Durch den Aufbau und die Pflege von internationalen Kooperationen, Netzwerken und Gremienarbeit, gestaltet die GRS diese Prozesse aktiv mit.

Die GRS ist international im Rahmen von mehr als 30 Kooperationsverträgen tätig und unterstützt und fördert als Gründungsmitglied des ETSON-Netzwerkes die europaweite Bewertung, Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Reaktorsicherheit. Das ETSON-Netzwerk wächst stetig und vereint aktuell neun TSO unter einem Dach, die in Expert Groups und auf Forschungs-Plattformen u. a. gemeinsame Sicherheitsbewertungsmethoden und Forschungsprojekte vorantreiben. Insbesondere mit der französischen TSO IRSN arbeitet die GRS eng zusammen. Schwerpunkt der gemeinsamen Arbeiten ist die Reaktorsicherheitsforschung.

Gefördert von deutschen Auftraggebern, ist die GRS in erster Linie für das BMU in Mittel- und Osteuropa tätig und trägt dort zur Verbesserung der installierten Sicherheitsstandards und zum Aufbau und der Stärkung unabhängiger atomrechtlicher Behörden bei.

Ein stetig wachsendes Marktsegment stellen die Anfragen ausländischer Aufsichts- und Genehmigungsbehörden dar, die die GRS aufgrund ihrer Expertise bei gutachterlichen Stellungnahmen oder zur Unterstützung in Genehmigungsprozessen immer öfter mit Projekten beauftragen.



(Foto: © fotolia.de / vege)

Zusammenarbeit mit ausländischen Partnern und Behörden

Seit über zwei Jahrzehnten baut die GRS ihr internationales Engagement kontinuierlich aus – in länderübergreifenden Netzwerken, in Kooperationen mit ausländischen Partnern und in internationalen Projekten. Die Unterstützung von Aufsichtsbehörden und TSO nimmt dabei eine wichtige Stellung ein.

Großbritannien. Die GRS hat die britische Behörde HSE/ONR (Health and Safety Executive/Office for Nuclear Regulation) bei der Begutachtung der generischen Sicherheitsauslegungen und Sicherheitsanalysen für Neubauvorhaben (Generic Design Assessment – GDA) unterstützt. Für die Reaktortypen EPR (Areva) bzw. AP1000 (Westinghouse) wurden die noch ausstehenden Arbeitspakete – CFD-Analysen zur Bor-Verdünnung – dokumentiert und abgeschlossen. HSE/ONR plant, auch während der Folgephase zum GDA-Prozess in 2013, wieder mit der GRS zusammen zu arbeiten.

Niederlande. Die Arbeiten für die niederländischen Behörden ILT (Human Environment and Transport Inspectorate) und EL&I (Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie) wurden 2012 fortgesetzt. Dabei ging es um die Bewertung von Dokumenten zur geplanten Laufzeitverlängerung des KKW Borssele sowie die ad-hoc-Beratung zu Fragen des Europäischen Stresstests. Darüber hinaus wurde mit der konkreten Planung des »Technical Work Program« für den von der GRS entwickelten Analysesimulator für das KKW Borssele begonnen.

Slowakei und Vietnam. Gemeinsam mit dem slowakischen ETSON-Partner VUJE wurde eine Kooperation mit der vietnamesischen Behörde VARANS (Vietnam Agency for Radi-



ation and Nuclear Safety) ins Leben gerufen. Im August 2012 fand dazu für fünf VARANS-Experten ein Workshop in Berlin und Trnava statt. Den weiteren Kooperationsgesprächen folgte die Unterzeichnung einer Zusammenarbeitsvereinbarung zwischen VUJE und GRS und einer Absichtserklärung zwischen VUJE, VARANS und GRS.

USA. Nach Unterzeichnung der Kooperationsvereinbarung mit der U.S. NRC (United States Nuclear Regulatory Commission) fand im August ein Gespräch mit dem U.S. Commissioner William C. Ostendorff statt, um erste Planungen für einen Mitarbeiteraustausch zwischen U.S. NRC und GRS sowie Möglichkeiten für eine fachliche Kooperation zu konkretisieren.

Korea. Mit der koreanischen TSO KINS (Korean Institute for Nuclear Safety) wurde im Juni ein Kooperationsabkommen unterzeichnet und ein erstes Aktionsprogramm mit den Themenschwerpunkten Digitale Leitetchnik, Unsicherheitsanalysen bei Rechenodes und neue Reaktorkonzepte festgelegt.

Unterstützung europäischer Initiativen zur nuklearen Sicherheit

Eine wesentliche Rolle innerhalb ihrer internationalen Aktivitäten spielen die Aufgaben, die die GRS zur Unterstützung des Bundes bei der Wahrnehmung von Verpflichtungen im Rahmen verschiedener internationaler Kooperationsabkommen und Initiativen übernimmt. Dieses Engagement trägt mit dazu bei, neue technische Entwicklungen zu verfolgen und daraus folgende Erkenntnisse für die Beratung des *BMU* und in der Forschung für das *BMW* einzusetzen.

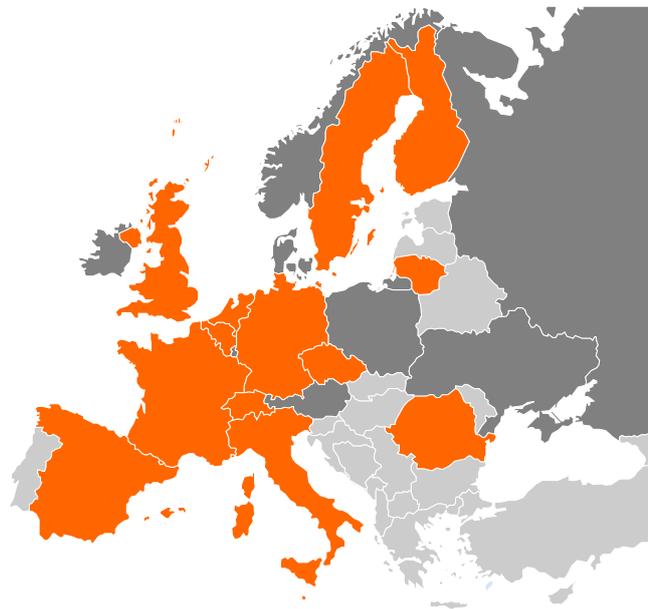
WENRA-Aktivitäten zu neuen Reaktoren in Europa. Die Begleitung des *BMU* bei der Wahrnehmung seiner Tätigkeiten innerhalb der Western European Nuclear Regulators Association (*WENRA*) umfasste 2012 unter anderem die Weiterentwicklung der Anforderungen an neue Reaktoren in Europa. Diese Anforderungen wurden der *WENRA* auf ihrer Frühjahrssitzung 2012 vorgestellt. Außerdem war die GRS in die Arbeit der neuen *WENRA*-Gruppen zu »Mutual Assistance«, »Natural Hazards«, »Containment in Severe Accidents« und »Accident Management« eingebunden, die im Nachgang zu Fukushima eingerichtet wurden. Innerhalb dieser Gruppen sowie in der übergeordneten Reactor Harmonisation Working Group beteiligt sich die GRS an der Überarbeitung der Safety Reference Level im Hinblick auf die aus dem Fukushima Unfall zu ziehenden Lehren.

Europäischer Stresstest. Bei der Planung und Durchführung des europäischen Stress-tests wurde das *BMU* von der GRS bei der Durchführung der sog. »Topical Peer Reviews« fachlich unterstützt. Das Hauptaugenmerk lag in 2012 auf der Durchführung der »horizontalen« (d.h. fachspezifischen) und der »vertikalen« (d.h. übergreifenden) Peer

Reviews. Gegenstand dieser Reviews war die Prüfung der nationalen Berichte, die eines der wesentlichen Elemente des europäischen Stress-tests darstellen. Im Vorfeld dieser Überprüfung war die GRS bis Ende 2011 bereits intensiv in die Erstellung des Nationalen Aktionsplans für Deutschland eingebunden.

Harmonisierung Regelwerk. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten der GRS im Rahmen der *WENRA* bestand in der Unterstützung des *BMU* im Hinblick auf die Beteiligung an der Working Group on Waste and Decommissioning (*WGWD*) der *WENRA*. Ziel der Arbeitsgruppe ist eine Harmonisierung der jeweiligen nationalen kerntechnischen Regelwerke hinsichtlich wesentlicher internationaler Sicherheitsanforderungen an die Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle sowie an die Stilllegung kerntechnischer Anlagen. Darüber hinaus hat die Arbeitsgruppe damit begonnen, entsprechende Anforderungen an die Endlagerung radioaktiver Abfälle zu erarbeiten und abzustimmen.

Neben der Erstellung der fachlichen Dokumentationen für die Sitzungen der *WGWD* umfassen die Aufgaben der GRS in diesem Zusammenhang auch die Vorbereitung des Nationalen Aktionsplans zur Regelwerksharmonisierung. Außerdem verfolgt die GRS den Harmonisierungsprozess in Deutschland,



WENRA-Mitglieder (in orange) und Observer (in dunkelgrau)
(Abbildung: WENRA)

beispielsweise durch fachliche Zuarbeit zur Überarbeitung der »Sicherheitstechnischen Leitlinien für die trockene Zwischenlagerung bestrahlter Brennelemente« durch die Entsorgungskommission (ESK). Für den Bereich der Zwischenlagerung hat die Arbeitsgruppe auf ihrer Sitzung am 25./26. September 2012 in Stockholm festgestellt, dass Deutschland mit den in seinem Aktionsplan vorgesehenen Regelwerksanpassungen die entsprechenden Vorgaben erfüllt.

Convention on Nuclear Safety. Zu den Aufgaben der GRS gehört regelmäßig auch die fachliche Begleitung der Aktivitäten des Bundes im Rahmen der Convention on Nuclear Safety (CNS). Dazu gehört insbesondere die

Vor- und Nachbereitung der Überprüfungs-konferenzen, die in dreijährigem Turnus in Wien stattfinden. In 2012 übernahm die GRS entsprechende Aufgaben auch im Zusammenhang mit der zweiten außerordentlichen CNS-Überprüfungskonferenz, auf der die Mitgliedsstaaten Konsequenzen und Lehren aus dem Unfall in Fukushima diskutierten. Hier konnte die GRS ihre Erkenntnisse aus ihrer intensiven Befassung mit dem Unfall, seinen Ursachen und seinen Folgen einbringen.

Arbeiten für das EURATOM-Forschungsprogramm und die INSC-Kooperation

Die GRS arbeitet in den Förderprogrammen der Europäischen Kommission – sowohl im EURATOM-Forschungsrahmenprogramm als auch bei dem Instrument der nuklearen Sicherheitskooperation (INSC). Die Programme dienen der Unterstützung ausländischer Behörden und Gutachter und sollen Maßnahmen zur sicherheitstechnischen Nachrüstung in kerntechnischen Anlagen begleiten.

INSC. Die GRS beteiligt sich im INSC-Programm unter anderem an der Unterstützung unabhängiger Behörden und Gutachter in Ländern, die erstmals oder wieder Kernkraftwerke errichten wollen, so z. B. Vietnam und Mexiko. Vietnam bereitet gegenwärtig die Errichtung von vier KKW-Blöcken russischen bzw. japanischen Designs vor. Die GRS unterstützt die mexikanische Behörde strategisch beim Aufbau eigener Kompetenzen für ein Qualitäts- und Wissensmanagement-System sowie bei der Entwicklung eines Trainingsplans für deterministische und probabilistische Analysemethoden.

In Ergänzung zu den Förderprogrammen der EU-Kommission unterstützt die GRS Behörden Osteuropas, der INSC-Staaten und deren TSO bei der Erfassung, Begleitung und Einschätzung von Modernisierungsprogrammen sowie bei der Durchführung von Stör- und Unfallanalysen für KKW mit Druckwasserreaktoren. So wurde mit den atomrechtlichen Behörden in Weißrussland und Vietnam und deren TSO eine Zusammenarbeit begonnen. Mittelfristig sollen dort Kernteams für Störfallanalysen ausgebildet und gemeinsam Pilotanalysen für den Neubau der ersten weißrussischen bzw. vietnamesischen KKW vorbereitet und durchgeführt werden.



Mit der weißrussischen Behörde Gosatomnadzor wurden eine Reihe von Workshops durchgeführt – zwei davon an den GRS-Standorten in Köln und Berlin. Im Mittelpunkt stand die Einführung in die Simulationsprogramme *ATHLET*, *COCOSYS* und *ASTEC*, die Überprüfung von Regelwerksdokumenten und die Unterstützung beim Review und der Bewertung des vorläufigen Sicherheitsberichts für das geplante Kernkraftwerk in Belarus.

EURATOM. Am sogenannten EURATOM-call 2012 hat die GRS mit 15 Projektvorschlägen teilgenommen und den Zuschlag für sieben Projekte erhalten. Darunter ist unter anderem das Projekt *CESAM* (Code for European Severe Accident Management), das die GRS leiten wird. Im Mittelpunkt der Arbeiten steht der von IRSN und der GRS gemeinsam entwickelte Simulationscode für schwere Unfälle in kerntechnischen Anlagen *ASTEC* (Accident Source Term Evaluation Code). Dieser soll im Projekt weiterentwickelt werden, so dass er in Notfällen zur Entscheidungsfindung eingesetzt werden kann. Dazu werden Phänomene untersucht, die bei Störfällen von besonderer Bedeutung sind, und Referenzdatensätze von europäischen Kernkraftwerken erstellt. Auch die Anbindung von *ASTEC* an weitere Codes, die die Ausbreitung von radioaktivem Material in der Umgebung berechnen, wird getestet. Insgesamt beteiligen sich 18 Institutionen aus 11 Ländern der Europäischen Union sowie der Schweiz und Indien an *CESAM*.

Abrüstungsinitiative G8GP erfolgreich beendet

Im Jahr 2002 riefen die Mitgliedstaaten der G8 die Initiative »Global Partnership« (GP) ins Leben. Im Rahmen dieser Initiative verpflichteten sich die führenden Industriestaaten, bis 2012 die Relikte des Kalten Krieges zu sichern und zu entsorgen. Für dieses Vorhaben wurden mehr als 20 Mrd. US-Dollar zur Verfügung gestellt. Das Geld sollte eingesetzt werden, um Chemiewaffen zu vernichten, alte Atom-U-Boote der russischen Marine zu entsorgen und nukleare Anlagen vor äußeren Zugriffen zu sichern. Ende des Jahres 2012 lief das G8GP-Programm nach zehn Jahren aus.

Physischer Schutz für Nuklearanlagen. Für die Sicherung der Anlagen gegenüber äußeren Zugriffen wurde vom Auswärtigen Amt eine Summe von 170 Mio. Euro für G8GP bereitgestellt. Die Verantwortung für das Management dieses Programms zur Modernisierung des sogenannten »Physischen Schutzes« übertrug das Auswärtige Amt der GRS. Bereits in den 1990er Jahren nach dem Zerfall der Sowjetunion hatte die GRS mit einem Erfahrungsaustausch über den Physischen Schutz von nuklearen Anlagen begonnen. Physischer Schutz meint dabei alle technischen und administrativen Maßnahmen zur Sicherung radioaktiver Stoffe gegen Diebstahl oder Missbrauch.

Aufgabe der GRS in dem G8GP-Programm war es vor allem, die Angemessenheit von Modernisierungsmaßnahmen und Investitionen zu prüfen sowie die Projekte zur Umsetzung der Maßnahmen zu leiten. Dabei mussten viele verschiedene Phasen durchlaufen werden: Für die Modernisierung war zunächst das Gefährdungspotenzial der einzelnen Anlagen abzuschätzen. Auf der Grundlage dieser Analyse wurde ein Maßnahmenkonzept entwickelt. In der Umsetzungsphase war der Fortgang der Arbeiten zu begleiten und zu



Umzäunung der kerntechnischen Anlage Majak vor den Modernisierungsmaßnahmen (Foto: wikimedia commons, © Ecodefense/ Heinrich Boell Stiftung Russia/Slapovskaya/Nikulina)

kontrollieren. Außerdem wurde das Personal vor Ort geschult und für das Thema Sicherheit sensibilisiert.

Ein prominentes Beispiel für diese Arbeiten ist die Entwicklung und Umsetzung eines Sicherheitskonzepts für den nuklearen Industriekomplex Majak. Majak war der erste sowjetische Standort, an dem spaltbares Material für Kernwaffen hergestellt wurde. Heute werden auf der Anlage Radioisotope für den medizinischen Gebrauch produziert. Der Komplex besteht aus zwei Reaktoren, einer Wiederaufarbeitungsanlage und mehreren Endlagern. Teil des Modernisierungskonzeptes der GRS war zum Beispiel die Errichtung einer Zaunanlage mit Kontrollpunkten und Videoüberwachung rund um das Anlagengelände.

Eine weitere Anlage, deren Sicherung verbessert wurde, ist das sibirische Chemiekombinat in Tomsk. Hier stellte die Sowjetunion während des Kalten Krieges waffenfähiges Plutonium her. Heutzutage werden im sibirischen Kombinat Uran für Kernbrennstoff angereichert und Strahlenquellen für Medizin und Industrie hergestellt. Zwischen 2003 und 2012 bearbeitete die GRS mehrere Projekte,

in denen einzelne Anlagenbereiche des Kombinats mit modernisierter Sicherungstechnik zum Schutz gegen Entwendung radioaktiven Materials ausgestattet wurden.

In weiteren Projekten wurden nukleare Forschungsinstitute der ehemaligen Sowjetunion wie das Kurchatov-Institut, das Forschungsinstitut Bochvar in Moskau und das staatliche Forschungszentrum der russischen Föderation in Dimitrovgrad ertüchtigt.

In der Endphase erstreckten sich die Aktivitäten der *G8GP* auch auf die Ukraine und Weißrussland. Hier leitet die GRS bis Ende 2013 die Modernisierung des Physischen

Schutzes der Anlagen des Transport- und Lagerkomplexes des Ukrainischen Staatlichen Produktionsunternehmens IZOTOP sowie von Anlagenbereichen des Kernforschungsinstitutes Sosny (Joint Institute for Power and Nuclear Research, *JIPNR*) bei Minsk.

Weitere Informationen zu G8GP sind auf den Webseiten des [Auswärtigen Amts](#) zu finden.

Tschernobyl-Projekte im Auftrag der Europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (EBWE)

Seit dem Reaktorunglück von Tschernobyl befasste sich die GRS intensiv mit der Gesamtsituation am Standort des Kraftwerkes. Bis heute ist die GRS im Auftrag des Bundesumweltministeriums und internationaler Organisationen wie der Europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (EBWE) in verschiedenen Projekten für Tschernobyl aktiv. Ziel dieser Projekte ist es, den Standort Tschernobyl und seine Umgebung langfristig in einen ökologisch sicheren Zustand zu überführen.

Tschernobyl-Fonds der EBWE. Im Mittelpunkt der Arbeiten für die Tschernobyl-Fonds der EBWE standen 2012 die sicherheitstechnische Bewertung der Dokumentation für das komplette Design des neuen sicheren Einschlusses »New Safe Confinement« (NSC), einschließlich aller Hilfssysteme, des künftigen Zwischenlagers zur trockenen Lagerung von abgebranntem Brennstoff und einer Konditionierungsanlage für flüssige radioaktive Abfälle.

NSC. Gegenwärtig befindet sich der Block 4 immer noch unter einer Baukonstruktion, die als »Sarkophag« bekannt ist. Die Standsicherheit des Sarkophags wurde durch Arbeiten im Rahmen des »Shelter Implementation Plan« (SIP) erhöht, jedoch besteht weiterhin das Risiko eines Einsturzes. Die neue, größere Schutzhülle, das NSC, soll zum einen die Verbreitung von radioaktiven Materialien im Normalbetrieb und nach einem Störfall verhindern, darüber hinaus aber auch die Möglichkeit zur Demontage von instabilen Teilen des alten Sarkophags bieten.

Die GRS hat während der gesamten Planungsphase – über die Errichtung bis zur endgültigen Fertigstellung – die ukrainische Aufsichts- und Genehmigungsbehörde bei der fachlichen Begutachtung aller sicherheitstechnisch relevanten Fragestellungen und zum SIP unterstützt.



Bau des New Safe Confinements (Foto: EBWE)

Für die Realisierungsphase wird diese Form der Unterstützung seitens der Ukraine als nicht mehr notwendig erachtet. Der Vertrag zur Behördenunterstützung läuft daher Anfang 2013 aus. Aus internationaler Sicht ist dieser Schritt bedauerlich, da wesentliche sicherheitsrelevante Fragen weiterhin nicht zufriedenstellend gelöst wurden. Deshalb muss aus Sicht der GRS die Möglichkeit der Weiterführung einer Kooperation mit der ukrainischen Behörde geschaffen werden.

Derzeit erfolgt die Montage der Bogenkonstruktion des NSC durch das europäische Konsortium Novarka.

Zwischenlager. Nach Erteilung der Umbaugenehmigung der zunächst nicht fertiggestellten Anlage ISF-2 an die amerikanische Firma HOLTEC Ende 2012 wurde der Kooperationsvertrag mit westlichen Experten durch die ukrainische Behörde beendet. Eine weitere Begleitung des Projektes steht ebenfalls zur Diskussion.

Für das Projekt zur Konditionierung flüssiger radioaktiver Abfälle, das »Liquid Radwaste Treatment Plant« (LRTP), erfolgt auch weiterhin die Unterstützung und Beratung der ukrainischen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde durch die GRS.

GRS unterstützt Niederlande bei der Überarbeitung ihres Regelwerks

Unterstützung in technischen und wissenschaftlichen Fragen erhalten die Aufsichtsbehörden üblicherweise von der Technischen Sicherheitsorganisation (*TSO*) ihres Landes. Da die Niederlande nur ein Kernkraftwerk betreiben, verfügen sie über keine eigene *TSO*. Aufgrund ihrer Fachkompetenz nimmt die GRS diese Aufgabe jetzt auch in verstärktem Umfang für die Niederlande wahr.

Überarbeitung der Sicherheitsanforderungen. Im Rahmen der technischen Unterstützung des niederländischen Wirtschaftsministeriums *EL&I* konnten Ende 2012 die Sicherheitsanforderungen für Kernreaktoren fertiggestellt werden. Als Basis für die von der GRS entwickelten »Dutch Safety Requirements for Nuclear Reactors« (*DSR*) dienten die aktuellen deutschen »Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke«.

Diese wurden unter anderem um Anforderungen aus dem internationalen Regelwerk der *IAEO*, den »Safety Objectives for New Nuclear Power Plants« der *WENRA / RHWG* und Anforderungen der niederländischen Behörde ergänzt. Die *DSR* sollen im Genehmigungsverfahren für einen geplanten kerntechnischen Neubau und bei Anlagenmodifikationen angewandt werden und umfassen Sicherheitsanforderungen sowohl für Druckwasser- als auch für Siedewasserreaktoren. Auch für Forschungsreaktoren wurde in den Sicherheitsanforderungen eine Vorgehensweise festgelegt.

Die niederländische Behörde sieht vor, die *DSR* von der *IAEO* in einer sogenannten »IAEA Expert Mission« überprüfen zu lassen. Die GRS wird die niederländische Behörde bei dieser Überprüfung wieder fachlich unterstützen.



Kernkraftwerk Borssele in den Niederlanden (Foto: EPZ)

Projektträger/ Behördenunterstützung

➔ Im Zentralbereich Projektträger/Behördenunterstützung (PT/B) unterstützt die GRS Behörden bei der Gestaltung und Umsetzung von Fördermaßnahmen im Zusammenhang mit Fragen der nuklearen Sicherheit. Im Mittelpunkt stehen dabei seit 1978 die Aufgaben als Projektträger für die Reaktorsicherheitsforschung (PT R) für die jeweils zuständigen Bundesministerien, aktuell das BMWi.

Als solcher bildet die GRS das Bindeglied zwischen dem fördernden Ministerium einerseits und den Institutionen, die für diese Forschung Fördermittel erhalten andererseits. Aufgabe des Projektträgers ist die Beratung des BMWi bezüglich aktueller wissenschaftlich-technischer Entwicklungen auf dem Gebiet der Reaktorsicherheitsforschung und die Mitwirkung bei der Planung und Fortschreibung der Förderschwerpunkte. Außerdem ist der Projektträger mit der Durchführung von Fördermaßnahmen betraut. Die Förderung der Reaktorsicherheitsforschung umfasst die Fachgebiete Komponentensicherheit, Anlagenverhalten und Unfallabläufe, Mensch-Maschine-Wechselwirkung und innovative Reaktorsysteme. Darüber hinaus unterstützt der Zentralbereich die Bundesregierung bei der internationalen Zusammenarbeit der Bundesrepublik Deutschland auf dem Gebiet der kerntechnischen Sicherheit und koordiniert Aktivitäten zur Steigerung der Effizienz kerntechnischer Forschung und Entwicklung in Deutschland und im internationalen Kontext.



(Foto: © iStockphoto.com / matjjeacock)

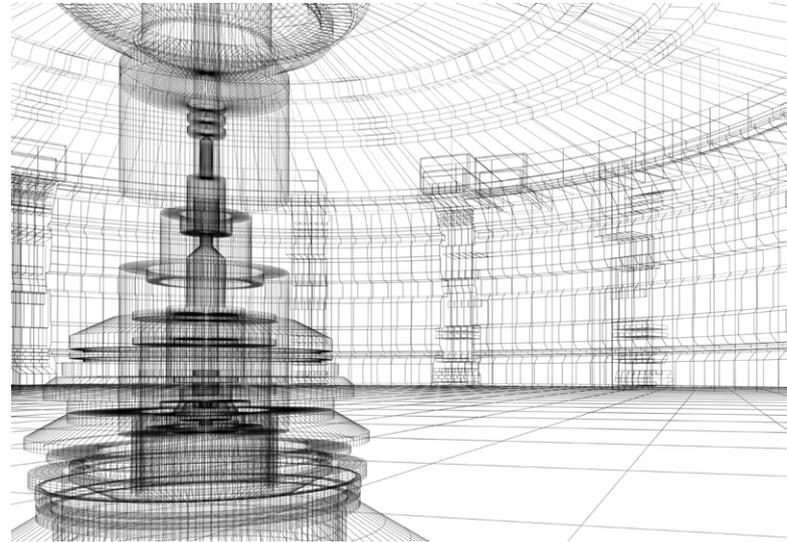
Grundsatzpapier zur Neuausrichtung in der Nuklearen Sicherheitsforschung

Nach dem Reaktorunglück im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi legte Deutschland in der 13. Novelle des Atomgesetzes fest, dass alle Kernkraftwerke schrittweise bis zum Jahr 2022 stillgelegt werden.

Der Kompetenzverbund Kerntechnik beschloss daraufhin, Ziele und Ausrichtung künftiger Forschung zur nuklearen Sicherheit unter den geänderten Rahmenbedingungen grundlegend zu evaluieren. Mitglieder des Kompetenzverbundes sind neben der GRS die Helmholtz-Zentren Dresden-Rossendorf, Jülich und das Karlsruher Institut für Technologie und die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Der Projektträger GRS (Projektträger des BMWi für die projektgeförderte Reaktorsicherheitsforschung) wurde mit der Koordinierung dieser Evaluierung betraut.

Für die künftige Ausrichtung der nuklearen Sicherheitsforschung wurden folgende vorzählige Themengebiete identifiziert:

Sicherer Restbetrieb. Auch nach dem Beschluss, alle Kernkraftwerke in Deutschland bis zum Jahre 2022 endgültig stillzulegen, müssen für deren Restbetrieb weiterhin höchste Sicherheitsansprüche nach dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik gelten. Um diese sicherzustellen, wurden sechs besonders relevante Forschungsgebiete identifiziert: Die Prüfung und Bewertung der Sicherheit von Strukturen, Nachweisverfahren für die Beherrschbarkeit von Transienten, Stör- und Unfällen, schnelllaufende Prozessmodelle für den Einsatz in Notfallzentren, die probabilistische Sicherheitsanalyse, sicherheitsrelevante Einflüsse menschlicher Hand-



(Abbildung : ©iStockphoto.com / ArtyFree)

lungen und der Organisation und die Überlagerung übergreifender Einwirkungen von innen und außen.

Sicherer Rückbau stillgelegter Anlagen. Bisher wurden bereits umfangreiche Erfahrungen mit dem Rückbau kerntechnischer Anlagen gesammelt. Im Hinblick auf die nun vermehrt und zeitlich zum größten Teil parallel durchzuführenden Rückbauaktivitäten lässt sich Verbesserungspotenzial erkennen. Forschungsbedarf besteht u. a. auf den Gebieten großtechnischer Rückbauverfahren, Strahlenschutz, Abfallminimierung und Rekonstruktion des Anlagengeländes.

Sicherheit der Zwischen- und Endlagerung einschließlich Abfallbehandlung. Derzeit steht in Deutschland sowohl für wärmeentwickelnde als auch für nicht wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle noch kein Endlager zur Verfügung. Dementsprechend müssen für die Zwischenlagerung dieser Abfälle sicherheitstechnische Vorkehrungen entwickelt, bewertet und betriebsbegleitend untersucht werden. Hierzu gehört auch die, vor allem

im Ausland in Betracht gezogene, Abfallbehandlung zur Abtrennung und anschließenden Umwandlung von Actiniden (*P&T*) und ihre Auswirkungen auf Endlagersysteme. Vor dem Hintergrund der Neuorientierung bei der Endlagerstandortsuche müssen aktuelle Entwicklungen verfolgt und ihre Rückwirkungen auf relevanten Forschungs- und Entwicklungsbedarf geprüft werden. Dies betrifft vor allem die Kriterienentwicklung, die Wirtschaftscharakterisierung und Fragen der Rückholbarkeit wärmeentwickelnder Abfälle.

Sicherheitsstandards nuklearer Anlagen im Ausland. Während in Deutschland die Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung bis 2022 eingestellt wird, halten andere Staaten, auch in direkt angrenzender Lage zu Deutschland, an der Kernenergienutzung fest. In einigen Fällen (Frankreich, Finnland) werden derzeit neue Kernkraftwerke gebaut oder befinden sich konkret in Planung (Niederlande, Polen, Tschechische Republik, Vereinigtes Königreich). Um legitime Sicherheitsinteressen kompetent vertreten und Mitspracherechte wirksam wahrnehmen zu können, ist es erforderlich, dass deutsche Behörden sich auf hinreichenden eigenen Sachverstand zur Beurteilung der Sicherheit aktueller sowie potenziell zukünftiger Anlagen stützen können. Dazu sind Forschungsarbeiten u. a. in den Bereichen konzeptspezifisches Betriebs- und Störfallverhalten, Funktionssicherheit und Wirksamkeit passiver Sicherheitssysteme notwendig.

Internationale Regelbildung. Angesichts der weiträumigen Auswirkungen möglicher nuklearer Unfälle wird der Ruf nach einheitlichen Regeln und Richtlinien für Bau und Betrieb sowie Rückbau nuklearer Anlagen immer drängender. Insbesondere innerhalb der Europäischen Union sind daher Bestrebungen im Gange, obschon die Souveränität



Blick in eine Infrastrukturstrecke im Schacht Konrad, der derzeit zum Endlager für vernachlässigbar wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle ausgebaut wird (Foto: Bundesamt für Strahlenschutz)

der Mitgliedsländer hinsichtlich der nuklearen Regulierung nicht angetastet werden soll, doch wenigstens gemeinsame Mindestanforderungen verbindlich zu beschließen. Diese Bemühungen werden weit über das Jahr 2022 hinaus andauern. Forschungsarbeiten werden hier insbesondere zur Erarbeitung von Entscheidungsgrundlagen notwendig sein.

Internationale Kernmaterialüberwachung. Insbesondere internationale Organisationen (z. B. die *IAEO*) wachen seit vielen Jahren über die Materialflüsse, die zur Versorgung der Kernkraftwerke und Forschungsreaktoren mit Spaltstoff dienen. Um gegen die missbräuchliche Abzweigung von spaltbarem Material zum Zwecke der Herstellung von Massenvernichtungsmitteln vorzugehen wird empfohlen die sogenannten Safeguards-Technologien weiterzuentwickeln.

Strahlenschutzforschung. Ein Risiko durch Strahlenexposition sowohl für Arbeitnehmer als auch Bevölkerung und Umwelt besteht nicht nur während Betrieb und Rückbau kern-

technischer Anlagen, sondern auch bei der Behandlung und Endlagerung radioaktiver Abfälle. Dadurch bleibt die Strahlenschutzforschung noch weit über das Ende des Betriebes der Kernkraftwerke hinaus ein wichtiger Aspekt der Nuklearen Sicherheitsforschung. Fragen zur Strahlenschutzforschung werden durch den Kompetenzverbund Strahlenforschung koordiniert.

Ressourcen und Kompetenzerhalt. Um den oben skizzierten Forschungsbedarf abdecken zu können, sollten eine bedarfsgerechte Forschungsinfrastruktur bereitgestellt und Forschungseinrichtungen mit hinreichend Personal und Sachmitteln ausgestattet werden. Derzeit zeichnet sich insgesamt ein etwa gleichbleibender bis moderat erhöhter Ressourcenbedarf ab. Eine Schlüsselrolle hinsichtlich des Erhalts benötigter kerntechnischer Kompetenzen kommt der Ausbildung



(Foto: © iStockphoto / thelinke)

wissenschaftlicher Nachwuchskräfte zu, um dem seit Jahren zu beobachtenden Verlust an kerntechnischem Know-how und Know-why entgegenzuwirken.

Der komplette [Bericht](#) ist auf der GRS-Website abrufbar.

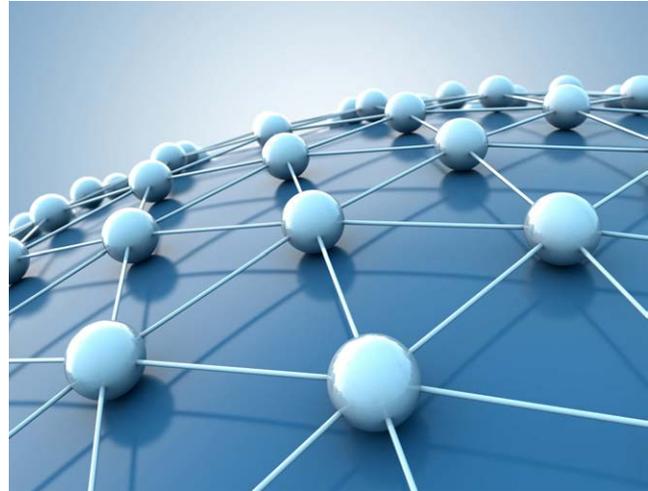
ISTec GmbH, RISKAUDIT IRSN/GRS International und ENSTTI

➔ Aus der GRS haben sich im Jahr 1992 die Tochterunternehmen ISTec und RISKAUDIT IRSN/GRS International entwickelt.

Das ISTec zählt heute zu den führenden Anbietern von Diagnose- und Sicherheitstechnik. ISTec berät Anlagenbauer, Betreiber von Kraftwerken, die verarbeitende Industrie, Verkehrsbetriebe und Behörden in Fragen rund um das Thema Diagnose und Sicherheit.

RISKAUDIT IRSN/GRS International ist eine gemeinnützige Europäische Wirtschaftliche Interessenvereinigung (EWIV) mit Sitz in Paris. Sie wurde von der GRS und ihrem französischen Partner, dem Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN) – heute IRSN – gegründet, um die Kompetenzen der GRS und des IRSN auf dem wissenschaftlichen und technischen Gebiet zu verbinden und in gemeinsame europäische Projekte einzubringen. Die Projekte von RISKAUDIT konzentrieren sich auf die kerntechnische Sicherheit in Mittel- und Osteuropa.

Auch das European Nuclear Safety Training and Tutoring Institute (ENSTTI) ist eine gemeinnützige Europäische Wirtschaftliche Interessenvereinigung (EWIV) und wurde als gemeinsame Initiative der ETSO-Mitgliedsorganisationen IRSN, UJV, LEI und GRS gegründet. Ziel des Weiterbildungsinstituts ist es, sowohl Training als auch ein lernbegleitendes Tutoring im Bereich der Kerntechnik anzubieten.



(Foto: © fotolia.de / ag visuell)



Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH feiert runden Geburtstag

Die GRS-Tochter Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH konnte 2012 ihr [20-jähriges Bestehen](#) feiern.

Der Geschäftsbetrieb startete am 1. Mai 1992 mit 30 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zunächst noch unter dem Namen »IST GmbH« an den Standorten Garching bei München und Köln. Heute bietet das *ISTec* anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung, Beratung und Prüfung in den Bereichen Diagnose-, Sicherheits- und Leittechnik, Informationstechnologie, Reststoffwirtschaft und Abfallbeseitigung. Ihre Auftraggeber sind Kraftwerke, die verarbeitende Industrie, Verkehrsbetriebe und Behörden.

Anfangsjahre. In den Anfangsjahren werden in erster Linie Projekte im nuklearen Bereich bearbeitet. Auftraggeber sind Kernkraftwerksbetreiber, die kerntechnische Industrie und Behörden wie das Bundesamt für Strahlenschutz (*BfS*), das von der *ISTec* zum Beispiel bei der Planung bzw. dem Betrieb von Endlagerprojekten unterstützt wird oder das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (*BMU*), das die Beratungsleistung der *ISTec* im Rahmen von Diagnoseverfahren in Kernkraftwerken in Anspruch nimmt. 1993 wurde beispielsweise das digitale Überwachungssystem *SIGMA* (Signal Monitoring & Analysis) entwickelt, das zur Zustandsüberwachung von Komponenten in Kernkraftwerken eingesetzt werden kann (u. a. zur Schwingungsüberwachung). Es erleichterte die Auswertung multipler Datensätze und speiste diese direkt in eine Datenbank ein.

Auch außerhalb Deutschlands konnte das *ISTec* Kunden gewinnen. Inhaltlich ging es dabei vorwiegend um die Unterstützung von Behörden in Genehmigungsverfahren.

Nicht-nukleare Themenfelder. Nach dem Atomausstiegsbeschluss 1998 gewannen nicht-nukleare Themenfelder zunehmend an Bedeutung. Auf dem Gebiet der Diagnostik konnte die Gesellschaft neue Projekte bei Windenergieanlagen, in der Petrochemie, bei Heizkraftwerken und auf dem Gebiet der Geothermie akquirieren.

So hat *ISTec* unter anderem Sicherheitstechnik für Windkraft- und Meerwasserentsalzungsanlagen entwickelt und Diagnose- und Frühwarnsysteme zur Überwachung von Fahrwerken in Hochgeschwindigkeitszügen der Deutsche Bahn AG. Auch die Entwicklung von Verfahren zur Schadensfrüherkennung an Photovoltaik-Anlagen gehört seit einigen Jahren zu den Aufgabenfeldern des Instituts für Sicherheitstechnologie.

Weitere Informationen zu Projekten, Mitarbeitern und Arbeitsfeldern des *ISTec* bietet die [Jubiläumsbroschüre](#) auf der Unternehmens-Website.



Die Anfänge: 1993 entwickelte das *ISTec* das PC-basierte System *SIGMA* (Foto: *ISTec*)



20 Jahre RISKAUDIT IRSN/GRS International

Die deutsch-französische Tochtergesellschaft RISKAUDIT feierte am 5. August 2012 ihren 20. Geburtstag. Ein willkommener Anlass für eine Bestandsaufnahme, einen Ausblick und Rückblick.

Rückblick. RISKAUDIT hat in den vergangenen 20 Jahren im Auftrag von Behörden, der Europäischen Kommission sowie der Europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung zahlreichen Vorhaben zum Erfolg verholfen.

Atomrechtliche Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden in Beitritts- und Drittstaaten und deren *TSO* wurden dank der Kooperation mit westeuropäischen *TSO* fachlich gestärkt. RISKAUDIT hat es sich dabei zur Aufgabe gemacht, Brücken zwischen Experten in der EU und solchen in Drittstaaten zu bilden. Bei der Implementierung von Vorhaben verlässt sich RISKAUDIT insbesondere auf die Expertise der GRS und IRSN. Gemeinsam mit anderen EU-Behörden und *TSO* haben sich in den 20 Jahren Expertenteams gebildet, die unter RISKAUDIT Vorhaben ihren Sachverstand im Bereich der kerntechnischen Sicherheit, des Strahlenschutzes, der Entsorgung, des Rückbaus etc. mit Drittstaaten geteilt haben. In den letzten Jahren hat RISKAUDIT seine bisherige Präsenz in osteuropäischen Ländern erweitert auf Länder in Mittel- und Südamerika, Asien, Nordafrika und im Nahen Osten.

Bestandsaufnahme. In 2012 waren RISKAUDIT Experten in den Ländern Ukraine, Russland, Armenien, Bulgarien, Weißrussland, Litauen, Jordanien, Marokko, Ägypten, Vereinigte Arabische Emirate, Mexiko, Brasilien und Vietnam tätig, wenn es um den

Transfer von Fachwissen an die Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden dieser Länder sowie deren *TSO* ging. Im Rahmen der Projekte werden aktuelle Fragen in der Genehmigungs- und Aufsichtstätigkeiten der Behörden bearbeitet, die Behörden und ihre *TSO* werden bei der Analyse und Bewertung von technischen Dokumenten unterstützt und RISKAUDIT trägt zu einer unabhängigen Willens- und Entscheidungsbildung gegenüber den nationalen Industrieprojekten bei.

Ausblick. RISKAUDIT will auch in Zukunft die zentrale Institution bleiben, die europäischen Sachverstand eint und Drittstaaten diesen zum Zwecke der Verbesserung der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes zur Verfügung stellt. Im Vordergrund werden weiterhin die Sicherheitsinteressen der Auftraggeber, insbesondere der Europäischen Union, sowie der Behörden/*TSO* der Partnerländer stehen. Darüber hinaus sollen alle Chancen, die sich aus der Zusammenarbeit ergeben, vollständig genutzt werden, um europäischen Sachverstand repräsentieren, erhalten und ständig verbessern zu können:

- /// Bildung und Stärkung eines Netzwerks der unter RISKAUDIT aktiven EU Experten;
- /// Ausbau und Stärkung der deutsch-französischen Kooperation zugunsten von europäischen und internationalen Projekten;
- /// Synergieeffekte mit den Aktivitäten der Mitglieder GRS/IRSN sowie der Partnerorganisationen ENSTTI und ETSON;
- /// Pflege und Ausbau der etablierten Partnerschaften in Drittstaaten.

Die Experten von GRS und IRSN werden die Motoren bei der Realisierung dieser Ziele bleiben.



European Nuclear Safety Training and Tutoring Institute (ENSTTI)

Die GRS beteiligt sich gemeinsam mit den Technischen Sicherheitsorganisationen (TSO) aus Frankreich, Belgien und Litauen an dem Ausbildungsinstitut European Nuclear Safety Training and Tutoring Institute (ENSTTI). Dazu gehört unter anderem, dass Dozenten der GRS an der Durchführung von Fachseminaren mitwirken.

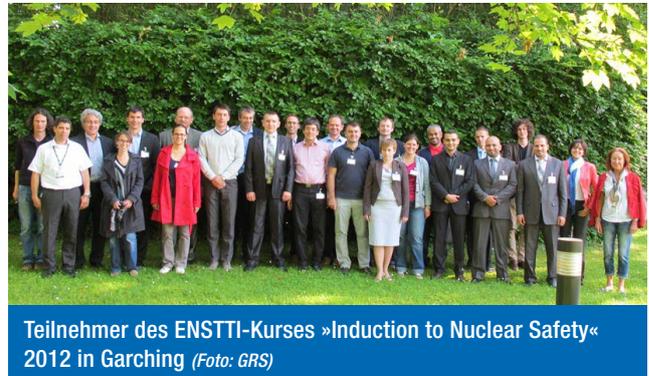
Die von ENSTTI angebotenen Fachkurse werden auch zur Weiterbildung von GRS-Mitarbeitern genutzt.

Training. ENSTTI kombiniert in seinem alljährlichen stattfindenden, englischsprachigen Ausbildungszyklus theoretische und praktische Inhalte. Die im Juni beginnende Trainingseinheit enthält neben Vorträgen zu Themen wie Reaktorphysik und Strahlenschutz auch die Grundlagen der nuklearen Sicherheit und der Technik in einem Kernkraftwerk sowie Simulation zu Unfällen und Transienten. ENSTTI bietet auch Spezialkurse an, unter anderem zum Sicherheitsmanagement für Genehmigungsbehörden. Zum Programm gehören außerdem Gruppenübungen und Anlagenbesuche.

Nach erfolgreicher Teilnahme an den geplanten Prüfungen, erhalten die Teilnehmer ein berufsqualifizierendes Zertifikat, das fundierte Grundkenntnisse auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit bescheinigt.

Vom 11. Juni bis 6. Juli fand der ENSTTI-Kurs »Induction to Nuclear Safety« in der GRS Garching, statt. Dieser Kurs richtet sich an Neulinge auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit und junge Berufstätige. 21 Teilnehmer aus Armenien, Deutschland, Frankreich, Jordanien, Litauen, Marokko, Polen, Tschechische Republik, Ukraine, Vereinigte Arabische Emirate und Weißrussland nahmen daran teil.

Das Programm des Kurses umfasste die Themen, die zum Basiswissen auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit gehören und vermittelte unter anderem Grundlagen der Kerntechnik, der Reaktorsicherheit, der Thermohydraulik, der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes. Im



Rahmen des Kurses besuchten die Teilnehmer das Kernkraftwerk Isar sowie die PKL-Versuchsanlage bei AREVA Erlangen.

Bis Ende des Jahres wurden weitere fünf ENSTTI-Trainingskurse umgesetzt, zwei davon bei der GRS in Köln. Vom 19. bis 23. November lautete das Thema »Ageing and Mechanical Analysis« und es ging unter anderem um die Auslegung von Komponenten, Bruchmechanik, Erdbebenanalyse und die Integrität von Containmentstrukturen. Vom 3. bis 7. Dezember fand der Kurs zu »Fire Protection« statt.

Beide Kurse wurden von der neuen Generaldirektion der EU, DEVCO (Development and Cooperation – EuropeAid) finanziert.

Tutoring. Das Tutoring findet individualisiert in Europa (Deutschland, Frankreich, Litauen, Italien ...) statt. Die Tutoren begleiten während der Ausbildung die Teilnehmer bei der Arbeit. Inhalte und Dauer des Tutorings werden an die Bedürfnisse des Landes und dessen Lernenden angepasst und können über die ENSTTI-Website gebucht werden. Das Tutoring wird ausschließlich von der neuen Generaldirektion der EU, DEVCO (Development and Cooperation – EuropeAid) Projekten finanziert.

Insgesamt haben 2012 mehr als 100 Trainees an Weiterbildungskursen von ENSTTI teilgenommen. Für deren Ausbildung standen 2012 ebenfalls mehr als 100 Trainer und Tutoren zur Verfügung gestellt. Weitere Informationen über das Institut unter www.enstti.eu.

Kooperationsverträge der GRS mit ausländischen Organisationen (Auswahl)

Partnerland	Organisation	Beginn	Titel
Argentinien	ARN	24.09.1998	Zusammenarbeit und Informationsaustausch auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit
Brasilien	CNEN	02.10.1997	Austausch technischer Informationen und Zusammenarbeit in Fragen der aufsichtsbehördlichen Forschung und der Sicherheitsforschung
China	NNSA	15.07.1998	Zusammenarbeit und Informationsaustausch auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit
Finnland	FORTUM (IVO)	01.10.1998	Abkommen über Beratungstätigkeit
Frankreich	ANDRA	19.04.2002	Zusammenarbeit und Informationsaustausch
	EUROSAFE Memorandum 2004	26.07.2004	EUROSAFE Absichtserklärung
	IRSN	29.07.1998	Vereinbarung über Zusammenarbeit von IRSN und GRS
	IRSN	15.07.1997	deutsch-französische Initiative zu Tschernobyl
Großbritannien	HSE	21.07.1998	Übereinkommen über technische Zusammenarbeit und technischen Austausch zwischen GRS und HSE auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheitsforschung
Japan	JNES Cooperation	25.06.1991	Abkommen über Informationsaustausch und Zusammenarbeit
Korea	KAERI	21.01.2004	Abkommen über Zusammenarbeit und Informationsaustausch auf dem Gebiet der Reaktorsicherheitsforschung
	KINS Cooperation	25.09.1998	Übereinkommen zwischen dem Korea Institute of Nuclear Safety (KINS) und der GRS zu Zusammenarbeit und Informationsaustausch auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit
Niederlande	KFD	25.09.1998	Rahmenvereinbarung über die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der kerntechnischen Sicherheit und des Strahlenschutzes
	KFD Cooperation	14.09.1992	Rahmenvereinbarung über die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der kerntechnischen Sicherheit und des Strahlenschutzes
Rumänien	CNCAN	10.11.1998	Zusammenarbeit und Informationsaustausch auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit
Russland	RRC KI	16.09.1996	Rahmenvereinbarung über wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit
	RRC-KI	02.06.2008	Vereinbarung über wissenschaftliche und technische Zusammenarbeit Cooperation 2008
Schweiz	Mont Terri	01.06.2001	Übereinkommen zum Mont Terri Projekt
	PSI Cooperation	15.07.2009	Rahmenvereinbarung über wissenschaftliche Kooperation
Spanien	CSN	21.09.1998	Beratungstätigkeit auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit

Partnerland	Organisation	Beginn	Titel
Türkei	TAEK	14.01.1998	Zusammenarbeit und Informationsaustausch auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit; Vereinbarung über Beratungstätigkeit und Leistungen
Tschechien	UJV Extension 2010	13.01.2010	Zweite Verlängerung des Zusammenarbeitsabkommens auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes
	NRI Rez 2000	08.11.2005	Zusammenarbeitsabkommen auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes (2000 Verlängerung)
Ukraine	NAS	25.11.1993	Rahmenvereinbarungen über wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit
	SNRCU/SSTC	24.04.2006	Programm der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit zwischen BMU/GRS (Deutschland) und SNRCU/SSTC (Ukraine)
USA	DOE (CAO)	22.01.1999	Absichtserklärung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle
	USNRC	23.07.1998	Zusammenarbeit bei der probabilistischen Risikobewertung und verwandter Sicherheitsforschung
	USNRC	18.11.2011	Zusammenarbeit auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit
International	ENSTTI 2009	21.12.2009	Gründung des European Nuclear Safety Training and Tutoring Institute (ENSTTI) - Memorandum of Understanding
	ETSON MoU 2010	04.02.2010	Gründung des European TSO Network - Memorandum of Understanding



Publikationen (Auswahl)

Titel		Autor(en)
GRS-S-50	Stilllegung kerntechnischer Anlagen	T. Stahl, E. Strub
GRS-S-51	Fukushima Daiichi 11. März 2011 - Unfallablauf, radiologische Folgen	GRS
GRS-S-52	Decommissioning of Nuclear Facilities	GRS
GRS 245	Rückhaltung und thermodynamische Modellierung von Iod und Selen in hochsalinaren Lösungen	S. Hagemann, H. Moog, H.-C. Herbert, A. Erich
GRS 273	VSG: Salzgeologische Bewertung des Einflusses von »kryogenen Klüften« und halokinetischen Deformationsprozessen auf die Integrität der geologischen Barriere des Salzstocks Gorleben (AP 2)	BGR
GRS 277	VSG: Sicherheits- und Nachweiskonzept (AP 4)	J. Mönig et al.
GRS 279	VSG: Einschätzung betrieblicher Machbarkeit von Endlagerkonzepten (AP 12)	F. Peiffer, B. McStocker
GRS 280	VSG: Untersuchungen zum menschlichen Eindringen in ein Endlager (AP 11)	DBETEC, GRS, nse
GRS 281	VSG: Endlagerauslegung und -optimierung (AP 6)	DBETEC, GRS, nse
GRS 282	FEP-Katalog für die VSG: Konzept und Aufbau (AP 7)	J. Wolf et al.
GRS 283	FEP-Katalog für die VSG: Dokumentation (AP 7)	J. Wolf et al.
GRS 284	VSG: Szenarienentwicklung: Methodik und Anwendung (AP 8)	T. Beuth et al.
GRS 285	VSG: Berücksichtigung der Kohlenwasserstoffvorkommen in Gorleben (AG Kohlenwasserstoffe)	G. Bracke (GRS), T. Popp (IfG), W. Püttmann (IAU), B. Kienzler (KIT/INE), A. Lommerzheim (DBETEC), H. C. Moog (GRS)
GRS 286	VSG: Integritätsanalyse der geologischen Barriere (AP 9.1)	Ingo Kock et al.
GRS 287	VSG: Integrität geotechnischer Barrieren, Teil 1 Vorbemessung (AP 9.2)	N. Müller-Hoeppe (DBETEC), D. Buhmann (GRS), O. Czaikowski (GRS), H.-J. Engelhardt (DBETEC), H.-J. Herbert (GRS), C. Lerch (DBETEC), M. Linkamp (DBETEC), K. Wieczorek (GRS), M. Xie (GRS)
GRS 288	VSG: Integrität geotechnischer Barrieren, Teil 2 Vertiefte Nachweisführung (AP 9.2)	N. Müller-Hoeppe (DBETEC), M. Breustedt (DBETEC), J. Wolf (DBETEC), O. Czaikowski (GRS), K. Wieczorek (GRS)
(GRS 292)	Enhancement of the Codes d ^{3f} and r ^{3t}	GRS, Steinbeis-FZ, Universität Frankfurt, Universität Freiburg, Universität Jena
GRS 294	Radionuclide Inventory of Vitrified Waste after Spent Nuclear Fuel Reprocessing at La Hague	A. Meleshyn, U. Noseck
GRS 297	Realistic Integration of Sorption Processes in Transport Codes for Long-Term Safety Assessments	U. Noseck, V. Brendler, J. Flügge, et al.
GRS 298	Scientific Basis for a Safety Case of Deep Geological Repositories	U. Noseck et al.
GRS 299	Consideration of Climate Changes in Biosphere Modelling for Performance Assessment	HMGU, GRS
GRS 300	Bentonite Barriers - New Experiments and State of the Art	M. Xie (GRS), R. Mieke (GRS), J. Kasbohm (Universität Greifswald), H.-J. Herbert (GRS), L. Meyer (GRS), U. Ziesche (GRS)
GRS 301	Chemische Vorgänge in einem Endlager für hochradioaktive Abfälle in Ton- und Salzgestein	H. Seher, G. Bracke
GRS 302	Self-Sealing Barriers of Sand/Bentonite-Mixtures in a Clay Repository	T. Rothfuchs, O. Czaikowski, L. Hartwig, K. Hellwald, M. Komischke, R. Mieke, Ch.-L.

Titel	Autor(en)
Erkenntnisse aus der Auswertung von Betriebserfahrungen - Weiterleitungsnachrichten 2012	GRS
GRS-A-3634 Betriebserfahrung mit Komponenten der sicherheitstechnisch wichtigen Nebenkühlwassersysteme in deutschen Anlagen mit DWR und SWR	M. Elmas, H. Reck, D. von der Cron
GRS-A-3637 Erweiterung und Validierung von ARTM für den Einsatz als Ausbreitungsmodell in AVW und SBG	R. Martens, W. Brücher, C. Richter
GRS-A-3643 Sicherstellung der Kernnotkühlung bei Kühlmittelverluststörfällen mit Freisetzung von Isoliermaterial	W. Pointner, A. Bröcker
GRS-A-3644 Thermohydraulische Rechenmethoden zu Transienten und Störfällen im Reaktorkühlkreislauf unter besonderer Berücksichtigung mehrdimensionaler Strömungen (ATHLET, FLUBOX, CFX)	H. Glaeser, U. Graf, J. Herb, B. Krzykacz-Hausmann, G. Lerchl, P. Papadimitriou, A. Papukchiev, F. Ringer, M. Scheuerer, P. Schöffel, T. Skorek, D. von der Cron, F. Weyermann
GRS-A-3649 Bewertung neuer Reaktorkonzepte und der Übertragbarkeit sicherheitstechnischer Lösungen auf in Betrieb befindliche Anlagen - Band 1	M. Heinrich, M. Walter, J. Oldenburg et al.
GRS-A-3649 Bewertung neuer Reaktorkonzepte und der Übertragbarkeit sicherheitstechnischer Lösungen auf in Betrieb befindliche Anlagen - Band 2	M. Heinrich, M. Walter, J. Oldenburg et al.
GRS-A-3652 Nachweis der Wirksamkeit von H2-Rekombinatoren auf der Basis ergänzender analytischer Untersuchungen mit COCOSYS für die Referenzanlage GKN-2	S. Band, S. Schwarz, Dr. M. Sonnenkalb
GRS-A-3654 Weiterentwicklung der Rechenprogramme COCOSYS und ASTEC	C. Spengler, J. Arndt, S. Arndt, I. Bakalov, S. Band, J. Eckel, W. Klein-Hessling, H. Nowack, M. Pelzer, N. Reinke, J. Sievers, M. Sonnenkalb, G. Weber
GRS-A-3655 Verfahren zur Erfassung, Analyse und generischen Auswertung meldepflichtiger Ereignisse aus nuklearen Anlagen hinsichtlich ergonomischer, menschlicher und organisatorischer Faktoren	W. Faßmann, W. Preischl, A. Wielenberg
GRS-A-3661 Fortschrittliche Rechenmethoden zum Kernverhalten bei Reaktivitätsstörfällen	A. Pautz, Y. Perin, I. Pasichnyk, K. Velkov, W. Zwermann, A. Seubert, M. Klein, L. Gallner B. Krzykacz-Hausmann
GRS-A-3673 Weiterentwicklung der Anforderungen an die rechtzeitige Erkennung und Beherrschung des korrosionsgestützten Risswachstums an sicherheitstechnisch bedeutsamen druckführenden Komponenten	M. Elmas, Dr. U. Jendrich, Dr. F. Michel
GRS-A-3675 Entwicklung einer Methode zur einheitlichen Durchführung von Sensitivitätsstudien im Rahmen von PSA	M. Kloos, G. Mayer
GRS-A-3676 Unsicherheits- und Sensitivitätsuntersuchung der COCOSYSAIM- Ergebnisse zum Iodverhalten im PHEBUS-Versuch FPT1	G. Weber, B. Krzykacz-Hausmann, F. Funke (AREVA NP, Erlangen)
GRS-A-3677 Validierung von Analysemethoden zur Simulation von Aufprallversuchen im In- und Ausland	C. Heckötter, J. Sievers
GRS-A-3678 Integrierte Strömungsberechnungen im Rahmen des EU-Projekts NURISP	M. Scheuerer
GRS-A-3681 Status des Regressionstestens für ASTEC V2.0r2	H. Nowack, M. Pelzer
GRS-A-3687 Quantitative Bestimmung der Unsicherheitsbandbreiten in aktuell verwendeten Berechnungsverfahren für Reaktivitätsstörfälle	I. Pasichnyk, Dr. K. Velkov, O. Schumacher
GRS-A-3689 Werkzeuge und Daten für die geochemische Modellierung	T. Scharge, A. G. Muñoz, H. C. Moog
GRS-A-3690 Rechenmethoden zur Bewertung der Sicherheit von gasgekühlten Hochtemperaturreaktoren und superkritischen Leichtwasserreaktoren	S. Buchholz, D. von der Cron, H. Hristov et al.

Abkürzungsverzeichnis/Glossar

Abkürzung	Erläuterung
AA	Auswärtiges Amt
ADINA	Simulationscode
AIM	Advanced Iodine Module
AP-1000	Druckwasserreaktor der Generation III+ des Herstellers Westinghouse
ARD	Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland
ARTM	Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell
ASTEC	Accident Source Term Evaluation Code, deutsch-französischer Integralcode
ATG	Atomgesetz
ATHLET	Analyse der Thermohydraulik von Lecks und Transienten, Thermohydraulik-Systemrechenprogramm
ATHLET-CD	ATHLET mit Core Degradation
AUSTAL	Programmpaket von ARTM
Bel V	Technische Sicherheitsorganisation Belgiens
BEZ	Brennelementzentrierstift
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
Bq/g	Becquerel/Gramm
CESAM	Code for European Severe Accident Management
CFM	Colloid Formation and Migration
CFX	Simulationscode
CNS	Convention on Nuclear Safety
COCOSYS	Containment Code System, Programmsystem, mit dem sich u. a. schwere Störfälle in Sicherheitsbehältern von Leichtwasserreaktoren analysieren lassen
CRIEPI	Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan
DARTM	Dosismodul des ARTM-Programms
DEVKO	Development and Cooperation - EuropeAid
DOE	Department of Energy, Energieministerium der USA
DSR	Dutch Safety Requirements for Nuclear Reactors
DV	Datenverarbeitung
DWR	Druckwasserreaktor
EBWE	Europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung, engl. EBRD

Abkürzung	Erläuterung
EL&I	Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Ministerium für Wirtschaft, Landbau und Innovation, Niederlande
ENSREG	European Nuclear Safety Regulators Group, Europäische Arbeitsgruppe für nukleare Sicherheit
ENSTTI	European Nuclear Safety Training and Tutoring Institute
EPR	European Pressurized Water Reactor, Druckwasserreaktor der Generation III+ des Herstellers Areva
ERMSAR	European Review Meeting on Severe Accident Research
ESK	Entsorgungskommission
ETSON	European Technical Safety Organisations Network, Europäisches TSO Netzwerk
EU	Europäische Union
FRM-2	Forschungsreaktor München-2, Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz der TU München
G8GP	Globale Partnerschaft gegen die Verbreitung von Massenvernichtungswaffen und -materialien
GDA	Generic Design Assessment
GeoDat	Vorhaben zur Erstellung einer thermodynamischen Datenbasis
GeoSys	Vorhaben für eine interdisziplinäre Systemanalyse zur tiefen Geothermie
GNSSN	Global Nuclear Safety and Security Network
GO-ARTM	grafische Bedienoberfläche von ARTM
GP	Global Partnership, Programm der G8-Mitgliedstaaten
HSE/ONR	Health and Safety Executive, Office of Nuclear Regulation, Agentur für Atomaufsicht der HSE
I2	molekulares Iod
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation (engl. IAEA)
IFF	Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
JLT	Human Environment and Transport Inspectorate, Niederlande
INES	International Nuclear and Radiological Event Scale, internationaler Bewertungsmaßstab für sogenannte »Ereignisse« in kerntechnischen Anlagen
INSC	Instrument for Nuclear Safety Cooperation, Programm der EU-Kommission zur Förderung der nuklearen Sicherheit weltweit
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Technische Sicherheitsorganisation Frankreichs
ISF	Interim Spent Fuel Storage Facility, Trockenlager für Brennelemente am KKW-Standort Tschernobyl
ISTec	Institut für Sicherheitstechnologie GmbH
IT	Informationstechnik
JAEA	Japan Atomic Energy Agency
JIPNR	Joint Institute for Power and Nuclear Research, Ukraine
JNES	Japan Nuclear Energy Safety Organization, Technische Sicherheitsorganisation Japans

Abkürzung	Erläuterung
KAERI	Korea Atomic Energy Research Institut, Südekorea
KINS	Koreanisches Institut für nukleare Sicherheit
KIT-INE	Institut für Nukleare Entsorgung am Karlsruher Institut für Technologie
KKW	Kernkraftwerk
LEI	Lietuvos energetikos institutas, Technische Sicherheitsorganisation Litauens
L RTP	Liquid Radwaste Treatment Plant, Gebäude zur Behandlung von flüssigem radioaktiven Abfall
LWR	Leichtwasserreaktor
MCDET	Monte Carlo Dynamic Event Tree
MELCOR	integraler Simulationscode zur Analyse schwerer Unfälle in KKW
MOX	Mischoxid
MPa	Megapascal
ms	Millisekunden
NAGRA	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Schweiz
NDA	Nuclear Decommissioning Authority, Großbritannien
NSC	New Safe Confinement, Schutzhülle um den bestehenden Sarkophag in Tschernobyl
OECD/NEA	Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency, Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung/Kernenergieagentur
P&T	Partitioning & Transmutation
PKL-Versuchs-anlage	Versuchsanlage Untersuchungen zum thermohydraulischen Verhalten von Druckwasserreaktoren unter Störfallbedingungen
POSIVA	Energieversorgungsunternehmen Finnland
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
QUIS	Forschungsprojekt zum Verhalten von Quecksilber
RDB	Reaktordruckbehälter
REPOPERM	Verbundprojekt »Restporosität und -permeabilität von kompaktierendem Salzgrus-Versatz«
RESA	Reaktorschnellabschaltung
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission
SARNET	Severe Accident Research Network, Euopäisches Exzellenznetzwerk
SCALE	System for Criticality Analysis in Licensing Evaluations
SEC NRS	Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Technische Sicherheitsorganisation Russlands
SEWD	Sonstige Einwirkungen Dritter
SFP	Sandia Fuel Project
SIGMA	Signal Monitoring and Analysis
SIP	Shelter Implementation Plan, Initiative der G7-Staaten, der EU und der Ukraine zur Stabilisierung des Tschernobyl-Sarkophags und den Bau einer neuen Schutzhülle (siehe NSC)

Abkürzung	Erläuterung
SKB	Svensk Kärnbränslehantering, Kernkraftwerksbetreiber Schweden
StrlSV	Strahlenschutzverordnung
SWR	Siedewasserreaktor
THCM	Themohydraulische, mechanische und chemische Prozesse
TOUGH2	Transport of unsaturated Groundwater and Heat
TSO	Technische Sicherheitsorganisation
TU	Technische Universität
TÜV	Technischer Überwachungsverein
U.S. NRC	Nuclear Regulatory Commission, Aufsichts- und Genehmigungsbehörde der USA
UACSA	Uncertainty Analysis for Criticality Safety Assessment
UAM	Uncertainty Analysis in Modelling
UBA	Umweltbundesamt
USA/US	United States of America, Vereinigte Staaten von Amerika
UTD	Untertagedeponie
UV-Strahlung	Ultraviolette Strahlung
VARNAS	Vietnam Agency for Radiation and Nuclear Safety & Control, Vietnamesische Aufsichtsbehörde
VIRTUS	Virtuelles Untertagelabor
VS	Verschlusssache
VSG	Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben
VUJE	Technische Sicherheitsorganisation der Slowakei
WDR	Westdeutscher Rundfunk
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association, EU-weiter Zusammenschluss der Aufsichtsbehörden
WGWD	Working Group on Waste and Decommissioning der WENRA
WLN	Weiterleitungsnachricht
WPK	Wissenschaftspressekonferenz
XSUSA	Cross Section Uncertainty and Sensitivity Analysis, Programm zur Durchführung von Unsicherheitsanalysen für alle Arten von nuklearen Berechnungen

**Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) mbH**

Schwertnergasse 1
50667 Köln
Telefon +49 221 2068-0
Telefax +49 221 2068-888

Forschungszentrum
85748 Garching bei München
Telefon +49 89 32004-0
Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200
10719 Berlin
Telefon +49 30 88589-0
Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4
38122 Braunschweig
Telefon +49 531 8012-0
Telefax +49 531 8012-200

www.grs.de

Folgen Sie uns!



www.riskaudit-int.org
www.eurosafe-forum.org
www.enstti.eu

ISSN 0944-0577