

Jahresbericht 2013/14

Impressum

Herausgeber

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH
Abt. Kommunikation
Ltg.: Sven Dokter

Redaktion

Sven Dokter, Verena Güllmann, Horst May

Lektorat

Sabine Roggenkämper, Verena Güllmann

Grafische Umsetzung

Dieter Komp

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

Die entsprechenden PDF-Dateien zu diesem Jahresbericht
können kapitelweise unter www.grs.de heruntergeladen werden.

Februar 2016

Liebe Leserin, lieber Leser,

in einer Zeit, in der wohl fast jede Organisation (und natürlich auch die GRS) es Interessierten ermöglicht, sich via Webseiten und Soziale Medien annähernd »in Echtzeit« über ihre Aktivitäten zu informieren, mag ein Jahresbericht vielleicht schon anachronistisch wirken. Aber anders als der oft fragmentarische Blick typischer digitaler Formate bietet ein solcher Bericht für uns die Möglichkeit, Ihnen Eigenschaften der GRS näher zu bringen, die sie aus unserer Sicht besonders machen: die enge und wechselseitig befördernde Verbindung von Forschungs- und Sachverständigentätigkeit und das erfolgreiche Zusammenwirken verschiedener Fachrichtungen.

Beispielhaft für diese Stärken sind etwa unsere Arbeiten zu den Chancen und Risiken von Partitionierung und Transmutation für die Entsorgung radioaktiver Abfälle; hier waren kerntechnische und -physikalische Expertise ebenso gefragt wie das Wissen um die Relevanz der entstehenden Reststoffe für die Endlagerung. Die kontinuierliche Weiterentwicklung unserer Simulationsprogramme zur Reaktorsicherheit, von denen einige mittlerweile in fast 50 Ländern genutzt werden, hat die Anforderungen der gutachterlichen Praxis im Blick und nimmt immer wieder Erkenntnisse aus unserer langjährigen Auswertung von Ereignissen in Kernkraftwerken auf. Und auch die in diesem Bericht vorgestellte Erarbeitung von Methoden für Analyse und Nachweis der Langzeitsicherheit von Endlagern setzt Kompetenzen in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen und Ebenen voraus – vom Verständnis grundlegender hydraulischer, chemischer und mechanischer Prozesse bis zum langfristigen Verhalten eines komplexen Endlagersystems.

Besonders hinweisen möchten wir Sie schließlich auch auf das Kapitel zum Umweltschutz, das mittlerweile einen festen Platz in unseren Jahresberichten hat. Die Projekte, die wir Ihnen dieses Mal vorstellen – angefangen von Forschungsarbeiten für eine nachhaltige Wasserwirtschaft über unsere Arbeiten zur Tiefen Geothermie bis hin zur Unterstützung afrikanischer Staaten beim Umgang mit gefährlichen Abfällen – stehen exemplarisch für eines unserer wichtigsten Ziele für die Zukunft: die in über 35 Jahren Forschung und Entwicklung im nuklearen Bereich gewonnenen Kompetenzen für nachhaltige Lösungen zum Schutz von Mensch und Umwelt nutzbar zu machen. Hier dürfen Sie zukünftig noch mehr von uns erwarten.

Wir danken Ihnen für Ihr Interesse an der GRS und wünschen Ihnen eine interessante Lektüre!

Prof. Dr. Frank-Peter Weiß

Hans J. Steinhauer

Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH



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



Hans J. Steinhauer
Kaufmännisch-juristischer
Geschäftsführer

Inhaltsverzeichnis

1 Meilensteine 2013/14	6
2 Die GRS auf einen Blick	15
Organisation	
Unternehmensentwicklung	
Öffentlichkeitsarbeit	
3 Projekte und Arbeitsschwerpunkte	
Reaktorsicherheit	23
Analysen zum Ausfallverhalten von rechnerbasierten oder programmierbaren Komponenten der Elektro- und Leittechnik	
Berücksichtigung von Personalhandlungen in probabilistischen Sicherheitsanalysen für KKW	
Bewertung komplexer Brandszenarien mit fortschrittlichen PSA-Methoden	
Fukushima Folgevorhaben: Analysen der Unfallabläufe in den Reaktoren 2 und 3	
Sicherheitsanforderungen bei Partitionierung und Transmutation (P&T)	
Untersuchung zur Sicherheit von Fusionskraftwerken	
Weiterentwicklung und Validierung von Simulationsprogrammen	
Studie zur Auswirkung von Netz- und Stromausfällen auf Kernkraftwerke	
Weiterleitungsnachrichten und Stellungnahmen	
Entsorgung	50
Projekt AnSichT: Arbeiten zum Sicherheitsnachweiskonzept für in Endlager im Tonstein	
Projekt ZIESEL: Forschung und Entwicklung zum Zweiphasenfluss in einem Endlager in Salzgestein	
Projekt FORGE: Untersuchungen zum Gastransport in Tonstein	
Projekt EMIL: Weiterentwicklung der Werkzeuge für den Langzeitsicherheitsnachweis eines Endlagers	
Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG)	
Forschungsarbeiten zur Rückhaltung von radioaktiven Stoffen in Gesteinen	
Konferenz der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerung (DAEF)	

Strahlenschutz	62
Entsorgung von freigegebenen Stoffen aus der Stilllegung von Kernkraftwerken	
Arbeiten der GRS zum radiologischen Arbeitsschutz	
Sicherheitsaspekte beim Transport radioaktiver Stoffe	
Übungsentwurf zum Notfallschutz für das Bundesamt für Strahlenschutz	
Umweltschutz	70
Projekt NAWAK: Sichere Wasserversorgung trotz klimatischem und demografischem Wandel	
Projekt GeoSys: Systemanalyse der geothermalen Energieerzeugung Tiefengeothermie	
Projekt ANEMONA: Anlagenmonitoring für Geothermiekraftwerke	
Projekt zum Umgang mit gefährlichen chemischen und biologischen Abfällen in Afrika	
Unterstützung ausländischer Behörden und TSO	79
4 Projektträger/Behördenunterstützung	84
5 Beteiligungen und Tochterunternehmen	87
Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH	
Riskaudit	
ENSTTI	
6 Anhang	93
Kooperationsabkommen (Auswahl)	
Publikationen (Auswahl)	
Abkürzungsverzeichnis/Glossar	

2013

Januar

Zusammen mit führenden deutschen Institutionen der Endlagerforschung, gründet die GRS die Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF).

Der Startschuss für eine interdisziplinäre Studie zum Thema Partitionierung und Transmutation fällt. Die GRS untersucht im Projekt gemeinsam mit anderen deutschen Forschungsorganisationen die Chancen und Risiken dieser Technologie.

Februar

Unter dem Thema »Zwischen Ausstiegsbeschluss und Endlagersuche« findet am 19. und 20. Februar in Köln das GRS-Fachgespräch statt.

Das neu gestartete Projekt WEIMAR (Weiterentwicklung des Smart Kd-Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen) setzt das ausgelaufene Projekt ESTRAL (Einbindung von Sorptionsprozessen in Transportprogramme für die Langzeitsicherheitsanalyse) fort. Die GRS und das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) arbeiten daran, Simulationsprogramme zu entwickeln, die z. B. die Anlagerung bestimmter Stoffe an Oberflächen realitätsnah abbilden.



März



Anlässlich des 2. Jahrestages des Reaktorunfalls in Fukushima veröffentlicht die GRS eine vollständig überarbeitete Ausgabe ihres Fukushima-Berichts.

Der wissenschaftlich-technische Geschäftsführer der GRS, Prof. Frank-Peter Weiß, hält auf der Regulatory Information Conference (RIC) in Washington einen Vortrag über die Forschungsarbeiten der GRS zum Reaktorunfall in Fukushima.

Die GRS veröffentlicht den Abschlussbericht zum EU-Projekt FORGE (Fate of Repository Gases), in dem sie das Verhalten von Gasen in Tonstein-Endlagern untersucht hat.

April

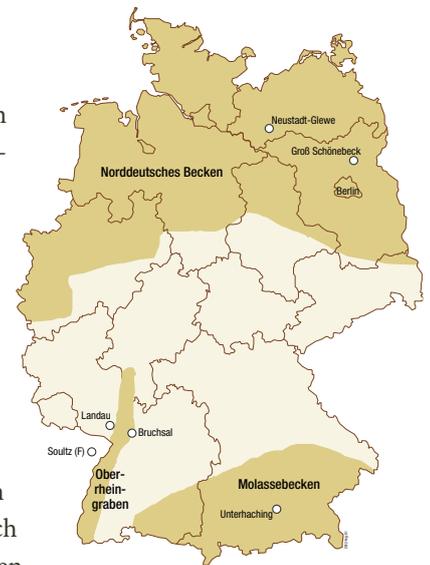
Die GRS richtet das Geothermie-Frühjahrstreffen aus, zu dem Vertreter aus Behörden, Forschung und Betrieb zusammenkommen, um aktuelle Forschungsergebnisse aus der Geothermie zu diskutieren (potenzielle Regionen für Geothermienutzung in Deutschland siehe Karte).

Die GRS nimmt zum dritten Mal am bundesweiten Girls' Day teil. 24 Schülerinnen schauen den GRS-Experten im Endlagerforschungszentrum in Braunschweig über die Schulter und erleben hautnah die Arbeit im Labor.

Die GRS startet die Veranstaltungsreihe NACHGEFRAGT am Standort Braunschweig, die sich an die interessierte Öffentlichkeit richtet. Bürgerinnen



und Bürger sollen sich hier zu grundsätzlichen Aspekten der Endlagerung informieren können. Im Laufe des Jahres veranstaltet die GRS insgesamt drei NACHGEFRAGT-Abende, die regen Zuspruch finden. Diskutiert wird unter anderem, welche Gesteine sich zur Einlagerung radioaktiver Abfälle eignen.



Mai

Am Kölner Standort der GRS werden die neuen Räumlichkeiten des Notfallzentrums in Betrieb genommen. Im Notfallzentrum kommt der Notfallstab der GRS zusammen, wenn sich in einer kerntechnischen Anlage in Deutschland oder im Ausland ein Störfall oder Unfall ereignet. Der Notfallstab hatte beispielsweise während Fukushima 2011 das Bundesumweltministerium unterstützt.



Die GRS richtet in München einen internationalen Workshop der OECD Nuclear Energy Agency (NEA) zur Sicherheit von Langzeitzwischenlagern für bestrahlte Brennelemente und hochradioaktive Abfälle aus.

Bei der GRS in Köln findet ein Treffen der Arbeitsgruppen des International Project on Decommissioning Risk Management (DRiMa), das die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) ins Leben gerufen hat, statt. Internationale Behördenvertreter und Sachverständige kommen zusammen, um sich über den aktuellen Stand zu Risiken von Stilllegungsprojekten auszutauschen und Empfehlungen zu erarbeiten.

In Köln findet das Kick-Off Meeting zum EU-Projekt CESAM (Code for European Severe Accident Management) statt, das von der GRS geleitet wird. Ziel des Projekts ist es, das Wissen zu Notfallmaßnahmen bei nuklearen Unfällen zu verbessern.



Die GRS gibt in ihrer Rolle als Projektträger für Reaktorsicherheitsforschung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) den Bericht »Nukleare Sicherheitsforschung - Neuorientierung an aktuellen energiepolitischen Rahmenbedingungen« heraus.

Juni

Die GRS hat in einem Forschungsprojekt für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die chemischen Verbindungen von Blei, Cadmium und Zink genauer unter die Lupe genommen. Ziel der Untersuchungen war es, Prognosen über das Gefährdungspotenzial eingelagerter Schadstoffe zu verbessern.

Das im Auftrag des niederländischen Wirtschaftsministeriums von der GRS entwickelte Regelwerk für Kernkraftwerke und Forschungsreaktoren wird einem Review durch eine IAEO Expert Mission unterzogen.

Juli

Auf dem Dach des Kölner Standorts wird ein Notstromdiesel für das neue Notfallzentrum installiert.



Das BMBF beauftragt die GRS mit der Projektsteuerung im Bereich Stilllegung, Rückbau und Entsorgung kerntechnischer Versuchsanlagen des Bundes. Dies umfasst das übergeordnete und unabhängige Controlling zu allen technischen und finanziellen Aspekten des Rückbaus der kerntechnischen Versuchsanlagen Deutschlands und der Entsorgung der radioaktiven Abfälle.

Die GRS leitet im Auftrag des BMBF ein Projekt, in dem vor dem Hintergrund des klimatischen und demographischen Wandels bis 2014 nachhaltige Anpassungsstrategien für die Wasserwirtschaft entwickelt werden sollen (NAWAK). Foto v. li.: Prof. Dr. Matthias Schöniger (TU Braunschweig), Projektleiter Dr. Jens Wolf (GRS), Egon Harms (Wasserverband OOWV).



August

Mit ZIESEL (Forschung und Entwicklung zum Zweiphasenfluss in einem salinaren Endlager) läuft ein neues Projekt im Bereich Endlagersicherheitsforschung bei der GRS an. Ziel der vom BMUB geförderten Studie ist es, die Berechnungswerkzeuge zur Bewertung der Sicherheit von Endlagern weiterzuentwickeln.

September

Nach vier Jahren erfolgreicher Zusammenarbeit wird am 18. September 2013 der Abschluss des Projektes »IZOTOP« der G8-Initiative »Globale Partnerschaft« in Kiew gefeiert. Im Rahmen des Projekts wurde die Sicherung des Transport- und Lagerkomplexes des ukrainischen Staatsunternehmens USPU IZOTOP modernisiert.



Transport- und Lagerkomplex USPU IZOTOP in der Ukraine (Foto: GRS).

Der letzte Bericht der [Vorläufigen Sicherheitsanalyse Gorleben \(VSG\)](#) erscheint. Die Ergebnisse des Projekts sind in insgesamt 25 Berichten festgehalten.

Oktober

Die GRS nimmt auch dieses Jahr wieder am Türöffnertag der Sendung mit der Maus teil. 30 Mädchen und Jungen entdecken dabei das Endlagerforschungszentrum in Braunschweig. Die Veranstaltung der GRS war bereits innerhalb weniger Wochen ausgebucht (Bild links).



Über 500 Interessierte besuchen die GRS am Tag der offenen Tür des Forschungscampus Garching. Bei den Vorträgen zu Fukushima sind alle Plätze belegt, einige hören von den Fluren und der Terrasse aus zu (Bild rechts).

Das Forschungsvorhaben WINO startet im Oktober. Darin sollen Untersuchungen zum Aufbau einer Wissensbasis für Stör- und Unfälle in ausländischen Kernkraftwerken durchgeführt werden.

Der wissenschaftlich-technische Geschäftsführer der GRS, Prof. Dr. Frank-Peter Weiß, wird in das EURATOM Scientific and Technical Committee (STC) berufen.

November

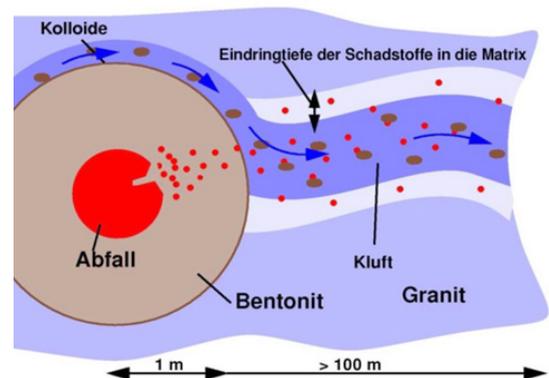
Am 4. und 5. November findet in Köln das 15. EUROSAFE Forum statt. 350 internationale Experten besuchen die Fachveranstaltung mit dem Themenschwerpunkt »Sichere Endlagerung nuklearer Abfälle«.



Dezember

Gefördert mit Mitteln des BMWi beteiligt sich die GRS an dem internationalen Forschungsprojekt »Colloid Formation and Migration« (CFM). Ein Verbund von Forschern aus Deutschland, Finnland, Großbritannien, Japan, Korea, Schweden, der Schweiz und den USA untersucht im Schweizer Felslabor Grimsel der NAGRA die Entstehung und das Verhalten von Bentonit-Kolloiden.

Die von der GRS erstellten Interpretationen zu den »Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke« (bereits im November 2012 verabschiedet) werden erfolgreich abgeschlossen, vom Länderausschuss für Atomkernenergie verabschiedet und im Bundesanzeiger veröffentlicht. Sie ersetzen die bisher gültigen »Sicherheitskriterien« und »Störfall-Leitlinien für DWR«.



2014

Januar

Das Jahr 2014 beginnt für die GRS mit zwei neuen Projekten in nicht-nuklearen Arbeitsfeldern. Im Projekt ANEMONA (kurz für: Anlagenmonitoring als Schlüsseltechnologie für den erfolgreichen Betrieb von Geothermiekraftwerken in Deutschland) entwickelt die GRS gemeinsam mit Partnern Monitoring-Werkzeuge für deutsche Geothermiekraftwerke.

Mit dem EU-Projekt »Management of Hazardous Chemical and Biological Waste in the African Atlantic Facade Region« sollen Institutionen und Fachpersonal afrikanischer Staaten im Umgang mit gefährlichen chemischen und biologischen Abfällen sensibilisiert und geschult werden.



CBRN
**Centres
of Excellence**
An initiative of the European Union

Februar

Die erste NACHGRFRAGT-Veranstaltung des Jahres findet im Endlagerforschungszentrum der GRS in Braunschweig zum Thema »Welche Rolle spielt die Geologie für die Langzeitsicherheit eines Endlagers« statt. Wegen der großen Nachfrage bietet die GRS einen Zusatztermin im März an. Bis Ende des Jahres finden noch insgesamt drei weitere NACHGEFRAGT-Veranstaltungen statt.

Der Leiter der GRS-Abteilung Endlagerung, Dr. Klaus Fischer-Appelt wird als neues Mitglied in die Entsorgungskommission (ESK) berufen.

März

Anlässlich des 3. Jahrestags des Reaktorunfalls in Fukushima veröffentlicht die GRS eine aktualisierte Ausgabe ihres Fukushima-Berichts.

Die GRS ist auf zahlreichen wichtigen Konferenzen vertreten. Unter anderem berichtet der technisch-wissenschaftliche Geschäftsführer der GRS, Prof. Frank-Peter Weiß, auf der Regulatory Information Conference in Washington über aktuelle Themen der Reaktorsicherheitsforschung in Deutschland. Zudem referieren mehrere GRS-Experten auf der weltweit größten Endlagerkonferenz – der Waste-Management-Konferenz – im amerikanischen Phoenix.

Die GRS nimmt zum 4. Mal am Girls' Day teil. 24 Schülerinnen schauen im Geowissenschaftlichen Labor in Braunschweig GRS-Experten über die Schulter und werden selbst für einen Tag zu Forscherinnen.

Bundesumweltministerin Barbara Hendricks beruft den technisch-wissenschaftlichen Geschäftsführer Prof. Frank-Peter Weiß in die Reaktor-Sicherheitskommission (RSK).

April

Die 6. Internationale Überprüfungstagung zum Übereinkommen über nukleare Sicherheit (Convention on Nuclear Safety) findet in Wien statt. Als Teil der deutschen Delegation unterstützt die GRS das Bundesumweltministerium vor Ort.

Fachleute aus aller Welt kommen am GRS-Standort Garching zum OECD-NEA-»Workshop on Fire Probabilistic Risk Assessment« zusammen.

Mai

Der GRS-Experte Dr. Boris Brendebach wird neues Mitglied des Ausschusses »Stilllegung« der Entsorgungskommission.

Der OECD-Benchmark für Rechenmodelle zur Analyse von Unsicherheiten (Benchmark for Uncertainty Analysis in Best-Estimate Modelling for Design, Operation and Safety of LWRs) findet bei der GRS in Garching statt.

Juni

Gleich mehrere Reaktorsicherheitsforscher der GRS halten Vorträge auf der diesjährigen PSAM12-Konferenz (Probability Safety Assessment and Management).

Juli

Die GRS veröffentlicht eine Studie zu Auswirkungen von Netz- und Stromausfällen auf Kernkraftwerke. Die Ergebnisse der Studie sind in dem Bericht »[Störungen im Stromnetz und Notstromfälle in Kernkraftwerken in den Jahren 2003 bis 2012](#)« zusammengefasst.

Die 25. Ausgabe des Fachmagazins EUROSAFE Tribune erscheint. Thema der Ausgabe ist die Endlagerung radioaktiver Abfälle.



August

Eine Delegation aus chinesischen Forschungseinrichtungen besucht die GRS, um die Vertragsverhandlungen zu einem gemeinsamen Forschungsprojekt abzuschließen. Das Projekt startet im Oktober. Es umfasst u. a. die Schulung der chinesischen Forscher in verschiedenen GRS-Rechenprogrammen und einen Code-Benchmark von Störfallanalysen.

September

Zwei Fachkollegen der GRS nehmen an der 3. Sitzung der Endlagerkommission des deutschen Bundestags teil. Sie informieren die Teilnehmer über aktuelle Arbeiten der GRS zur Endlagerforschung.



Die Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerung (DAEF) veranstaltet in Köln ihre erste Konferenz zu »Key Topics in Deep Geological Disposal«. Die DAEF wurde 2013 von der GRS und anderen führenden Institutionen der Endlagerforschung gegründet, um einen wesentlichen Beitrag zur Lösung der Endlagerfrage zu leisten.

Das Endlagerprojekt EMIL (kurz für Entwicklung von Methoden und Instrumenten für den Langzeitsicherheitsnachweis) startet. Im Projekt erforscht und entwickelt die GRS im Auftrag des Bundesumweltministeriums Werkzeuge für den Langzeitsicherheitsnachweis eines Endlagers weiter.

Oktober

Der GRS-Geschäftsführer Prof. Dr. Frank-Peter Weiß referiert auf der IAEO-Konferenz »International Conference on Challenges Faced by Technical and Scientific Support Organizations in Enhancing Nuclear Safety and Security« in Peking. Thema seines Vortrags sind die Forschungsaktivitäten des europäischen Netzwerks der Technischen Sicherheitsorganisationen (ETSON) zu Fukushima. Pünktlich zur Konferenz erscheint auch die 26. Ausgabe des Tribune Magazins, das sich ebenfalls ETSON widmet.



Rund 350 Gäste besuchen die GRS beim Tag der offenen Tür des Forschungscampus Garching.



November

Die GRS stellt auf dem deutschen Geothermie Kongress in Essen ihre aktuellen Projekte zur Geothermie vor.

Studenten der RWTH Aachen, der Ruhr-Universität (RUB) und der Universität Bochum besuchen den Uni-Infotag der GRS und informieren sich vor Ort über die Karrierechancen und die Arbeitsfelder in der GRS.

Dezember

In Garching veranstaltet die GRS zum 14. Mal den »AAA«-Workshop (Abbrand, Abschirmung, Aktivierung) mit Teilnehmern aus Gutachterorganisationen, Forschungseinrichtungen und Behörden aus Deutschland und der Schweiz.

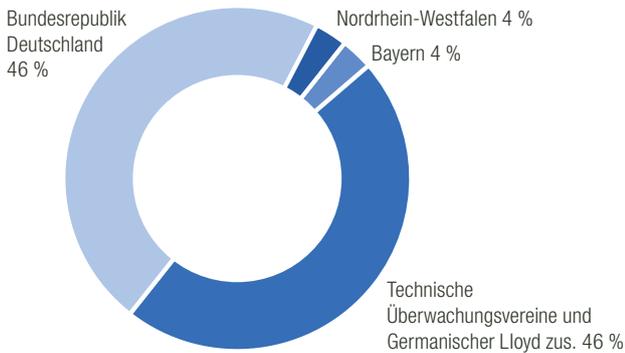
Am Ende des Jahres haben die 432 Mitarbeiter der GRS fast eine halbe Million Arbeitsstunden geleistet, ca. 400 Projekte bearbeitet und rund 60 Forschungsberichte veröffentlicht.

Die GRS auf einen Blick

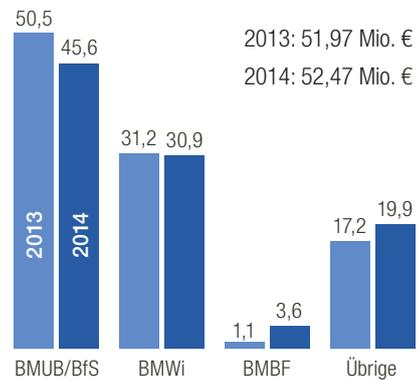
→ Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH – ist eine gemeinnützige Forschungs- und Sachverständigenorganisation. Sie befasst sich mit interdisziplinärer Forschung und Entwicklung und erstellt Gutachten mit Schwerpunkt auf dem Gebiet der Sicherheit technischer Anlagen.

	2013	2014
Anzahl Mitarbeiter/innen	441	432
davon		
technisch-wissenschaftlich	353	350
neue Mitarbeiter/innen	32	34
Jahresumsatz	rd. 52,0 Mio. €	rd. 52,5 Mio. €
Anzahl bearbeiteter Projekte	392	393
Anzahl Fachpublikationen (Fachberichte, Broschüren, Beiträge in Fachmagazinen)	120	123
Weiterleitungsnachrichten	10	14
Anfragen zur Verwendung von Simulationscodes	84	68
Anzahl Presseanfragen (Print, TV und Hörfunk) und Anfragen interessierter Bürger	85	80
Aufrufe der GRS-Website	rd. 662.000	rd. 632.000
Aufrufe Fukushima Portal	rd. 171.000	rd. 140.000

Gesellschafter



Umsätze und Zuschüsse nach Auftraggebern in %



Organe

/// Gesellschafterversammlung

/// Aufsichtsrat

Vorsitzende: Ursula Heinen-Esser,
Parlamentarische Staatssekretärin im BMUB

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. Steinhauer,
Kaufmännisch-juristischer Geschäftsführer

Organisation



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

*) gemeinsam mit IRSN/RISKAUDIT

Stand: April 2014



Standorte

Der Hauptsitz der GRS befindet sich in **Köln**. Hier sind alle GRS-Bereiche bis auf die Endlagersicherheitsforschung vertreten. Der fachliche Schwerpunkt liegt bei Reaktorsicherheitsanalysen sowie im Strahlen- und Umweltschutz. Darüber hinaus arbeitet ein Großteil der Mitarbeiter aus den Bereichen Projekte und Internationales, Zentrale Dienste sowie Projektträger/Behördenunterstützung von Köln aus.

Der Bereich Reaktorsicherheitsforschung wird vom GRS-Standort 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 Standortes befinden sich im Umfeld von Forschungsinstituten auf dem Campus der Technischen Universität (TU) München in unmittelbarer Nachbarschaft zum Forschungsreaktor FRM-2.

Am Standort in **Braunschweig** befindet sich das Endlagerforschungszentrum der GRS, in dem Methoden und Verfahren entwickelt werden, die zur Führung des Langzeitsicherheitsnachweises für Endlager von gefährlichen Abfällen in geologischen Formationen erforderlich sind. Der Bereich ist in die Abteilungen Sicherheitsanalysen und Prozessanalysen gegliedert. Das Endlagerforschungszentrum verfügt über ein akkreditiertes geowissenschaftliches Prüflabor, in dem geomechanische und geotechnische Untersuchungen durchgeführt werden können. Zudem kann das Labor die Probenahme, die Präparation und den Transport von Proben übernehmen.

Vom Standort in **Berlin** aus erfolgt die Leitung des Bereiches Strahlen- und Umweltschutz sowie der Abteilung Internationale Programme. Der Arbeitsschwerpunkt der Mitarbeiter am Berliner Standort liegt auf den internationalen Aktivitäten insbesondere für Mittel- und Osteuropa. Dabei spielt das von GRS und IRSN sowie deren Tochterorganisation RISKAUDIT gemeinsam betriebene Technische Büro in Kiew eine wichtige Rolle.



Beteiligungen

Institut für Sicherheitstechnologie GmbH (ISTec)

Das Institut für Sicherheitstechnologie GmbH, bis zum 31.12.2013 eine 100%-ige Tochtergesellschaft der GRS mit Sitz in Garching, 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.

Mit wirtschaftlicher Wirkung zum 1. Januar 2014 wird das ISTec an die TÜV Rheinland Industrie Service GmbH veräußert.

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.

European Nuclear Safety Training and Tutoring Institute (ENSTTI)

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

ENSTTI vermittelt theoretisches und praktisches Fachwissen im Bereich der Untersuchung und Bewertung kerntechnischer und radiologischer Risiken. Dabei hebt sich das Konzept von ENSTTI von bestehenden Angeboten durch die Kombination von Training- und Tutoring-Kursen ab.



Unternehmensentwicklung

2013

Die Vermögens-, Finanz- und Ertragslage des GRS-Konzerns kann für 2013 als gut bezeichnet werden. Wie auch in den Vorjahren, konnte das Geschäftsjahr mit einem positiven Unternehmensergebnis abgeschlossen werden.

Der Jahresüberschuss stieg im Vergleich zum Vorjahr um T€ 57 auf T€ 952 (Vorjahr: T€ 895). Mit rund 52 Mio. € erzielte die GRS um 3 Mio. € geringere Umsatzerlöse als im Vorjahr (55 Mio. €). Grund hierfür ist vor allem die um ca. 17.500 Sachverständigenstunden (SV/h) zu-rückgegangene Personalkapazität. Trotz voller Auftragsbücher mit einem Auftragsvolumen von ca. 484.000 SV/h (das entspricht einer Überlast von ca. 50.000 SV/h) konnte die lt. Wirtschaftsplan angestrebte Personalkapazität in Höhe von 450.000 SV/h nicht erreicht werden. Mit der tatsächlich vorhandenen Personalkapazität von 434.000 SV/h konnte aber durch Mehrleistungen der Mitarbeiter die zur Erreichung des Wirtschaftsplans erforderlichen 450.000 SV/h um ca. 1.200 SV/h überschritten werden.

Vermögenslage

Die GRS verfügt zum Bilanzstichtag über eine solide Vermögens- und Kapitalstruktur. Die Bilanzsumme der GRS ist im Berichtsjahr auf 49,50 Mio. € (Vorjahr: 50,14 Mio. €) gesunken. Das Vorratsvermögen der GRS aus nicht abgerechneten Leistungen erhöhte sich um T€ 590 auf 1,70 Mio. €.

Das Eigenkapital hat aufgrund des Jahresüberschusses 2013 um 0,95 Mio. € zugenommen und beläuft sich nun auf 24,75 Mio. € (Vorjahr: 23,80 Mio. €). Die Eigenkapitalquote hat sich aufgrund des gestiegenen Eigenkapitals und eines leicht verminderten Fremdkapitalanteils um 2,5 % Punkte auf 50,0 % (Vorjahr: 47,5 %) erhöht.

Konzernergebnis

Das Betriebsergebnis der Tochtergesellschaft ISTec liegt nach dem negativen Ergebnis des Vorjahres (- T€ 646) wieder im Plus und beträgt T€ 536. Die ISTec weist insgesamt einen Jahresüberschuss von T€ 498 aus (Jahresfehlbetrag 2012: T€ 660).

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 56,65 Mio. € in 2013 gegenüber 58,78 Mio. € in 2012. Dies entspricht einem Rückgang von 2,13 Mio. €.

Die Gewinn- und Verlustrechnung des Konzerns weist ein Ergebnis der gewöhnlichen Geschäftstätigkeit in Höhe von 1,52 Mio. € (Vorjahr: 0,25 Mio. €) aus. Die Ertragsteuern betragen T€ 63 und die sonstigen Steuern T€ 3. Damit ergibt sich ein Konzern-Jahresüberschuss in Höhe von 1,45 Mio. € (Vorjahr: 0,24 Mio. €).

2014

Das Geschäftsjahr 2014 konnte, wie auch in den Vorjahren, mit einem positiven Unternehmensergebnis abgeschlossen werden. Der Jahresüberschuss stieg im Vergleich zum Vorjahr bei leicht gestiegenen Umsatzerlösen auf 2.722 T€ (Vorjahr: 952 T€). Das überdurchschnittliche Jahresergebnis resultiert überwiegend aus dem Buchgewinn aus der Veräußerung des ISTec.

Die bisher als 100%-ige Tochtergesellschaft geführte ISTec GmbH wird 2014 erstmals nicht mehr in den Abschluss der GRS einbezogen. Damit entfällt für die GRS mit dem Abschluss des Geschäftsjahres 2014 die Notwendigkeit eines Konzernabschlusses.

Mit 52,5 Mio. € erzielte die GRS ca. 500 T€ höhere Umsatzerlöse als im Vorjahr (52,0 Mio. €). Trotz voller Auftragsbücher mit einem Auftragsvolumen von ca. 479.000 SV/h (das entspricht einer Überlast von ca. 43.000 SV/h) konnte die laut Wirtschaftsplan angestrebte Personalkapazität in Höhe von 443.000 SV/h nicht erreicht werden. Mit der tatsächlich vorhandenen Personalkapazität von 435.553 SV/h konnten aber durch Mehrleistungen der Mitarbeiter die zur Erreichung des Wirtschaftsplanes erforderlichen 443.000 SV/h leicht überschritten werden.

Vermögenslage

Die GRS verfügt zum Bilanzstichtag über eine solide Vermögens- und Kapitalstruktur. Die Bilanzsumme der GRS ist im Berichtsjahr auf 50,64 Mio. € (Vorjahr: 49,50 Mio. €) gestiegen. Das Vorratsvermögen der GRS aus nicht abgerechneten Leistungen sank um 647 T€ auf 1,07 Mio. €.

Das Eigenkapital hat auf Grund des Jahresüberschusses 2014 um 2,72 Mio. € zugenommen und beläuft sich nun auf 27,48 Mio. € (Vorjahr: 24,75 Mio. €). Die Eigenkapitalquote hat sich aufgrund des gestiegenen Eigenkapitals

und eines leicht verminderten Fremdkapitalanteils auf 54,3 % (Vorjahr: 50,0 %) erhöht. Das kurzfristige Fremdkapital nahm im Berichtszeitraum um 1,64 Mio. € ab und beläuft sich auf 7,53 Mio. € (Vorjahr: 9,17 Mio. €).

Umsatz

Der Umsatz der GRS ist im Berichtsjahr 2014 um 500 T€ auf 52,47 Mio. € leicht gestiegen (Vorjahr: 51,97 Mio. €). Das Ergebnis der gewöhnlichen Geschäftstätigkeit der GRS stieg um 1,81 Mio. € auf 2,80 Mio. € (Vorjahr: 994 T€). Nach Steuern ergibt sich ein Jahresüberschuss von 2,72 Mio. € (Vorjahr: 952 T€).

Weitere Informationen zur Unternehmensentwicklung finden Sie im Geschäftsbericht der GRS.

Weitere Informationen finden Sie in unserem [Geschäftsbericht 2014](#).

Öffentlichkeitsarbeit

Publikationen

Anlässlich des 2. und 3. Jahrestags des Reaktorunfalls in Fukushima veröffentlicht die GRS jeweils eine vollständig überarbeitete Ausgabe ihres Fukushima-Berichts. Die Berichte enthalten die jeweils für das Jahr relevanten neuen Erkenntnisse zum Unfallhergang, stellen die Maßnahmen im Zuge der Rückbauarbeiten am Standort und die radiologische Situation am Standort dar.

Veranstaltungen

Im April 2013 ruft die GRS die Veranstaltungsreihe NACHGEFRAGT in ihrem Endlagerforschungszentrum in Braunschweig ins Leben. Hier stellen sich Fachkollegen der GRS nach einem kurzen Einführungsvortrag den Fragen interessierter Bürger. Schwerpunktthema der ersten Veranstaltung ist »Radioaktivität und radioaktive Abfälle« (siehe Abbildung 1). Aufgrund positiver Rückmeldungen veranstaltet die GRS bis Ende des Jahres zwei weitere NACHGEFRAGT-Abende. Im August 2013 geht es um »Endlagersuche in Deutschland – welche Gesteine eignen sich zur Einlagerung radioaktiver Abfälle?« während im November »Endlagerkonzepte oder wie kann ein Endlager im geologischen Untergrund aussehen?« im Mittelpunkt stehen. Insgesamt kann die GRS 2013 mehr als 100 Gäste zu NACHGEFRAGT im Endlagerforschungszentrum begrüßen. Die Reihe wird in 2014 mit drei weiteren Terminen zu »Welche Rolle spielt die Geologie für die Langzeitsicherheit eines Endlagers?«, »Wässer und Lösungen im geologischen Untergrund« und »Welche Bedeutung hat die Grundwasserströmung für ein Endlager« weitergeführt.

Für junges Publikum bietet die GRS mit dem Girls' Day 2013 und 2014 und dem »Maus Türöffnertag« 2013 wieder zwei speziell auf Kinder ausgerichtete Veranstaltungen an. Bei den Girls' Day Terminen schauen jeweils mehr als 20 Schülerinnen den GRS-Fachleuten im Geowissenschaftlichen Labor



Abbildung 1: Plakatankündigung zur ersten NACHGEFRAGT-Veranstaltung im April 2013 (Bild: GRS).

über die Schulter und schnuppern Forscherluft. Der Türöffnertag des WDR-Formats »Sendung mit der Maus« ist bereits innerhalb weniger Wochen ausgebucht, so dass am 3. Oktober 2013 30 Mädchen und Jungen im Endlagerforschungszentrum in Braunschweig auf Entdeckungstour gehen können (siehe Abbildung 2). An Stationen wie »Guck



Abbildung 2: An der Station »Anna Lytik weiß Bescheid« geht es um die Frage, welche Flammenfarbe unterschiedliche Elemente hervorrufen (Foto: GRS).

mal wer da strahlt - Strahlung ist nicht gleich Strahlung« oder »Anna Lytik weiß Bescheid – Die bunte Seite der Chemie« sind die kleinen Forscher/innen in ihrem Element. Für die Eltern stehen während dieser Zeit GRS-Fachkollegen im Rahmen eines »NACHGEFRAGT-Spezial« Rede und Antwort.

Zum jährlich stattfindenden Uni-Infotag im November, kann die GRS 2013 und 2014 jeweils rund 25 Studierende an ihrem Standort in Köln begrüßen. Darunter sind unter anderem Studierende der RWTH Aachen und der Ruhruniversität Bochum. Die angehenden Ingenieure und Naturwissenschaftler informieren sich zu Arbeitsbereichen, Forschungsprojekte und Beschäftigungsmöglichkeiten bei der GRS (siehe Abbildung 3).

Auch der Tag der offenen Tür auf dem Forschungscampus in Garching wird in den Jahren 2013 und 2014 von über 500 Interessierten dazu genutzt, um sich über die Arbeitsfelder der GRS zu informieren. Insbesondere die Vorträge zu Fukushima sind wieder sehr gefragt: alle Plätze im Vortragsraum sind belegt, einige hören von den Fluren und der Terrasse aus zu.

Pressearbeit

Auch 2013 und 2014 gingen bei der GRS wieder zahlreiche Presseanfragen ein. Der größte Teil der Anfragen kam, wie in den Vorjahren auch, von überregionalen Print- und Onlinemedien aber auch von Wissenschaftsformaten öffentlich-rechtlicher TV- und Hörfunksender. Dabei geht es häufig um eine aktuelle Einschätzung der Lage in Fukushima bzw. um die Bewertung neuer Maßnahmen am Standort und deren Wirksamkeit. Aber auch die Themen Stilllegung kerntechnischer Anlagen und Endlagerung werden nachgefragt. Neben der klassischen Pressearbeit beantwortet die GRS auch zahlreiche Bürgeranfragen und Anfragen von Organisationen, die regelmäßig bei der GRS eingehen.



Abbildung 3: Uni-Infotag der GRS 2013 am Standort Köln (Foto: GRS).

Soziale Medien

2013 und 2014 setzt die GRS ihre Aktivitäten auf den Kanälen Facebook, Twitter, und Google+ weiter fort. Projekte, Veranstaltungen, Stellenanzeigen und aktuelle Berichterstattung mit Bezug zu den Arbeitsfeldern der GRS sind nur einige Themen, die auf den Plattformen veröffentlicht werden. Insgesamt erreicht die GRS Ende 2014 auf allen Kanälen (deutsch und englisch) rund 1.500 Follower/Freunde/Abonnenten.

Die Kurzfilme, die die GRS für den Videokanal Youtube produziert, werden im Jahr 2013 mehr als 31.000 Mal abgerufen, 2014 bereits mehr als 50.000 Mal. Besonders beliebt sind die Erklärvideos wie zum Beispiel »Was sind die Unterschiede zwischen Alpha-, Beta- und Gammastrahlung«. Sie werden häufig von den Nutzern angesehen und mit positiven Rückmeldungen kommentiert.

Die GRS-Website verzeichnet in den Jahren 2013 und 2014 insgesamt fast 1,3 Mio. einzelne Seitenaufrufe. Auch mehr als drei Jahre nach dem Reaktorunfall wird das Fukushima Portal mit mehr als 300.000 Seitenaufrufen nachgefragt. Der wöchentlich erscheinende Überblick zur radiologischen Situation am Standort Fukushima stößt nach wie vor auf großes Interesse.

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 über 50 Behörden und Forschungsinstitutionen im Ausland zum Einsatz.

Vorrangiges Ziel der Reaktorsicherheitsanalysen der GRS ist die sachverständige Unterstützung der durch das BMUB 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 BMUB 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 BMUB 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.



Kernkraftwerk Grafenrheinfeld 2013 (Foto: Wikimedia Commons/Avda).

Analysen zum Ausfallverhalten von rechnerbasierten oder programmierbaren Komponenten der Elektro- und Leittechnik

Für die Funktionsfähigkeit und die Sicherheit von Kernkraftwerken (KKW) spielt die Leittechnik eine entscheidende Rolle. Wird der Reaktor selbst oft als das »Herz« der Anlage bezeichnet, so lässt sich die Leittechnik in ihrer Gesamtheit als das »Gehirn« der Anlage beschreiben: Sie erfasst und kontrolliert den aktuellen Zustand des KKW und ermöglicht über die Regelung von Pumpen, Ventilen und anderen Bauteilen seine Steuerung. In einem mit Mitteln des Bundesumweltministeriums geförderten Projekt untersucht die GRS das Ausfallverhalten rechnerbasierter oder programmierbarer E- und Leittechnik.

Von analoger zu digitaler Leittechnik

Bei ihrer Errichtung in den 1970er und 1980er Jahren wurden die deutschen KKW – ebenso wie die meisten Anlagen im Ausland – dem damaligen Stand der Technik entsprechend mit analoger Leittechnik ausgestattet. Wie in anderen Technikbereichen vollzieht sich allerdings auch in der Kerntechnik seit geraumer Zeit ein Wandel hin zum Einsatz rechnerbasierter oder programmierbarer Komponenten. Dies betrifft nicht nur das Design bzw. den Bau neuer KKW. Auch in bestehenden Anlagen wurde und wird analoge Technik zunehmend durch rechnerbasierte oder programmierbare Technik ersetzt. Ein Grund dafür besteht darin, dass manche der beim Bau eingesetzten analogen Bauteile nach 30 oder mehr Betriebsjahren ausgetauscht werden müssen, entsprechende Ersatzteile aber nicht mehr hergestellt werden. Mittlerweile sind in der sogenannten betrieblichen Leittechnik aller deutschen KKW rechnerbasierte oder programmierbare Komponenten im Einsatz. Die Leittechnik des hier-



Abbildung 1: Blick in die Leitwarte der Blöcke 1 und 2 des KKW Kozloduy in Bulgarien
(Foto: Wikimedia Commons/Yovko Lambrev).

von getrennten sogenannten Reaktorschutzes, der für die Beherrschung von Störungen bzw. Störfällen konzipiert ist, beruht nach wie vor auf nicht rechnerbasierter oder programmierbarer Technik.

Ziele des Projekts

Rechnerbasierte oder programmierbare Leittechnik unterscheidet sich in verschiedenen Aspekten erheblich: Sie ist technisch komplexer, es sind andere bzw. neuartige Fehlermechanismen wie z. B. Programmierfehler sowie ein verändertes Verhalten fehlerhafter Komponenten möglich. Auch die Handhabung durch das Betriebspersonal hat sich verändert. Diese Unterschiede machen es mit Blick auf die sicherheitstechnische Bedeutung erforderlich, das Ausfallverhalten solcher Komponenten zu untersuchen. Im Rahmen des Projekts werden dazu Daten aus der Betriebserfahrung im Hinblick auf verschiedene Aspekte ausgewertet. Dazu zählt zum einen die Effektivität der Prüfmethode, mit denen Ausfälle möglichst frühzeitig – d. h. bevor die entsprechende Komponente angefordert wird – erkannt werden sollen. Zum anderen wird analysiert, welchen Einfluss Fehler in

der Software und äußere Einflüsse bzw. Belastungen wie Hitze, Feuchtigkeit oder Strahlung auf derartige Komponenten haben. Schließlich sollen mögliche neuartige Fehlermechanismen erkannt und charakterisiert werden.

Datenbasis

Als Grundlage der Untersuchungen dienen Daten aus der Betriebserfahrung von sechs deutschen Kernkraftwerken – sowohl Druckwasserreaktoren als auch Siedewasserreaktoren – aus dem Zeitraum von 2000 bis 2012. Neben meldepflichtigen Ereignissen werden dabei vor allem auch Ereignisse ausgewertet, die unterhalb der Meldeschwelle liegen. Insgesamt werden Daten von über 1.008 Ereignissen und 6.617 rechnerbasierten oder programmierbaren Komponenten analysiert.

Bisherige Ergebnisse

Die bisherigen Untersuchungen in dem laufenden Projekt zeigen, dass die meisten Ausfälle rechnerbasierter oder programmierbarer Komponenten im Rahmen technischer Prüfungen durch automatische Meldungen der betroffenen Systeme und bei Rundgängen des Schichtpersonals erkannt wurden. Ausfälle, die erst bei einer Anforderung erkannt wurden und deshalb sicherheitstechnisch besonders relevant sind, traten lediglich in 3,6 % aller Fälle auf. Die in den KKW angewendeten Methoden zur Fehlererkennung scheinen damit nach dem bisherigen Wissensstand für rechnerbasierte oder programmierbare Komponenten geeignet zu sein. Die letztgenannten Ausfälle bei Anforderung könnten jedoch – sofern sie sich in Sicherheitssystemen ereignen – einen erheblichen Einfluss auf die Anlagensicherheit haben. Insofern besteht hier der Bedarf an vertieften Untersuchungen, um mögliche Verbesserungen bei der Fehlererkennung zu identifizieren.

Erste Analysen der Ausfallursachen haben ergeben, dass der ganz überwiegende Teil der Ausfälle auf Fehlern im nicht-rechnerbasierten oder nicht-programmierbaren Teil der betroffenen Komponenten beruhen. Reine Softwarefehler waren lediglich in 6,4 % der Fälle Grund

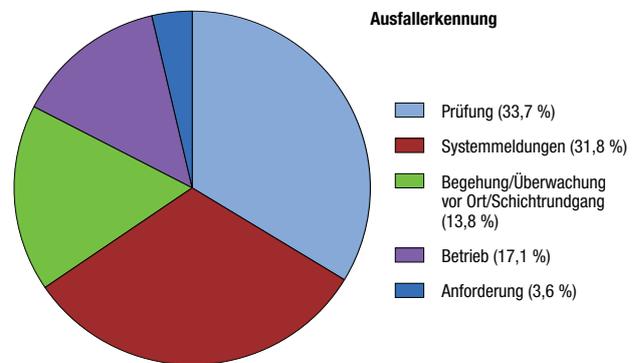


Abbildung 2: Aufteilung der untersuchten Ausfälle nach Art ihrer Erkennung (Quelle: GRS).

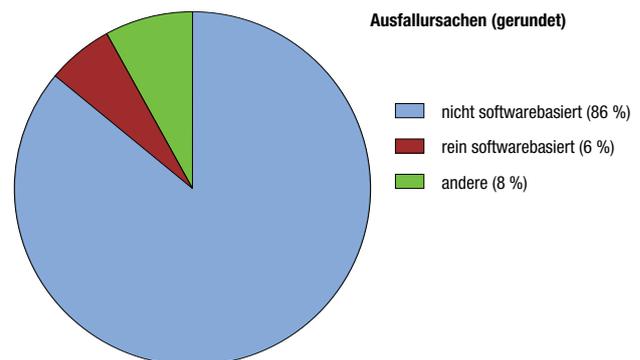


Abbildung 3: Aufteilung der untersuchten Ausfälle nach Art ihrer Ursachen (Quelle: GRS).

für einen Ausfall. Ein signifikanter Einfluss von äußeren Einflüssen wie Hitze oder Strahlung auf die Ausfälle konnte nicht beobachtet werden.

Wichtige Anknüpfungspunkte für weitere Untersuchungen bieten die Erkenntnisse, die bislang über neue Ausfallmechanismen gewonnen werden konnten, die nur bei rechnerbasierten oder programmierbaren Komponenten auftreten. So führten beispielsweise in rund 1,5 % aller untersuchten Ereignisse leere oder defekte Pufferbatterien zu Ausfällen. Weitere neuartige Ausfallmechanismen sind Programmierfehler. Sie haben bereits zu meldepflichtigen Ereignissen geführt und können sofern einen erheblichen Einfluss auf Sicherheitssysteme haben.

Berücksichtigung von Personalhandlungen in probabilistischen Sicherheitsanalysen für KKW

Für den sicheren Betrieb eines Kernkraftwerks (KKW) sind nicht nur technische Aspekte wie Auslegung, Instandhaltungen und Nachrüstungen maßgeblich. Daneben spielt auch die Zuverlässigkeit menschlicher Handlungen eine wichtige Rolle. Auswertungen von Betriebserfahrungen zeigen, dass – je nach zeitlichem Bezug und Fehlerdefinition – zwischen einem Drittel bis knapp die Hälfte aller meldepflichtigen Ereignisse unmittelbar auf Fehlhandlungen zurückzuführen ist.

Bedeutung von PSA-Kenngrößen zu Fehlhandlungen

Wegen ihres Einflusses auf die Sicherheit werden menschliche Handlungen schon seit vielen Jahren in probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) berücksichtigt (mehr zu den Zielen und der Methodik von PSA findet sich hier http://www.grs.de/content/risikoanalysen_psa). Dazu ist es erforderlich, Kenngrößen für die Zuverlässigkeit der menschlichen Handlungen zu ermitteln, die in der PSA verwendet werden können. Bei diesen Kenngrößen handelt es sich zum einen um die Wahrscheinlichkeit, mit der eine bestimmte Fehlhandlung zu erwarten ist. Zum anderen müssen für die einzelnen Fehlerwahrscheinlichkeiten die zugehörigen Unsicherheiten ausgewiesen werden.

Ein wesentlicher Faktor für die Aussagesicherheit von PSA liegt in der Qualität der einzelnen Kenngrößen. Bei der Ermittlung von Fehlerwahrscheinlichkeiten für technische Komponenten kann hierzu in den meisten Fällen auf statistische Auswertungen von Ausfalldaten aus der Betriebserfahrung zurückgegriffen werden. Der bislang verfügbare Datenbestand für die Zuverlässigkeit menschlicher Handlungen und die zugehörigen Unsicherheiten beruht hingegen auf Expertenschätzungen und ist nicht ausreichend validiert.

Neue Kenngrößen durch Auswertung von Betriebserfahrung

In mehreren durch das Bundesumweltministerium geförderten Projekten hat die GRS neue Methoden entwickelt, mit denen PSA-Kenngrößen für Personalhandlungen durch eine Auswertung der Betriebserfahrung ermittelt werden können. Aus der Anwendung dieser Methoden konnten darüber hinaus neue Erkenntnisse zur Zuverlässigkeit solcher Handlungen gewonnen werden.

Dazu wurde beispielweise die Anzahl von sogenannten »Vergreiffehlern« an Schaltpulten (also das irrtümliche Betätigen eines falschen Schalters), die unmittelbar ein meldepflichtiges Ereignis hervorgerufen haben und die Gesamtanzahl entsprechender Handlungen, die unter vergleichbaren Randbedingungen wie Zeitdruck oder Ergonomie der Schalter ausgeführt wurden, zu Grunde gelegt. Aus dieser Stichprobe wurde eine sogenannte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Vergreiffehler und eine erwartete Fehlerwahrscheinlichkeit (nach Bayes) von 0,16 % errechnet. Weitere Beispiele für untersuchte Arten von Fehlhandlungen sind etwa das Auswechseln eines falschen Bauteils, aber auch Kommunikationsfehler oder Fehler bei der Gewinnung von Information aus schriftlichen Unterlagen durch Überlesen oder falsche Interpretation.

Die durch die Auswertung von Fehlhandlungen neu gewonnenen Kenngrößen erweitern zum einen den bisherigen Datenbestand, der für die Berücksichtigung entsprechender Personalhandlungen in einer PSA benötigt wird. Darüber hinaus werden die neuen Daten dazu verwendet, die bislang für die jeweiligen Handlungen herangezogenen Expertenschätzungen zu validieren.

In einem weiteren Entwicklungsschritt werden durch Auswertung der Betriebserfahrung auch Stichproben von nachweislich erfolgreichen Personalhandlungen ermit-

telt, die im Fall einer Fehlhandlung zu einem meldepflichtigen Ereignis geführt hätten. Mit dieser Methode können so auch aus fehlerfrei ausgeführten Handlungen Kenngrößen für die Zuverlässigkeit errechnet werden.

Durch die Anwendung der neuen Kenngrößen kann zum einen die Aussagegenauigkeit von PSA weiter optimiert werden. Zum anderen tragen diese neuen Daten dazu bei, dass das grundlegende Ziel einer PSA – die Ausgewogenheit des sicherheitstechnischen Designs einer Anlage zu bewerten und mögliche Ansätze für Verbesserungen zu identifizieren – auch für den Bereich menschlicher Handlungen besser erreicht werden kann.

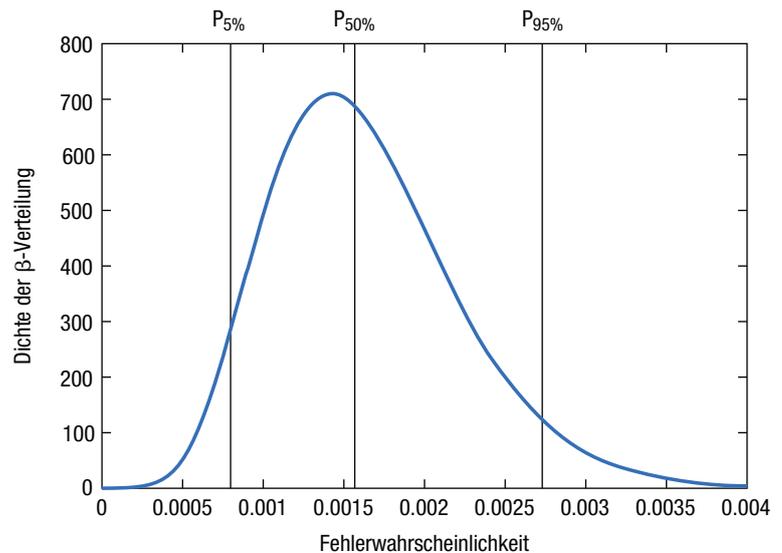


Abbildung 4: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für Vergreiffehler an Schaltpulten (erwartete Fehlerwahrscheinlichkeit nach Bayes: $PEW = 1,6 \cdot 10^{-3}$; Stichprobenparameter: 7 Fehler bei 4.588 Handlungsausführungen) (Quelle: GRS).

Bewertung komplexer Brandszenarien mit fortschrittlichen PSA-Methoden

In der Risikoanalyse von Brandfällen in Kernkraftwerken müssen sowohl menschliche Handlungen als auch der Einsatz technischer Hilfsmittel berücksichtigt werden. Mit herkömmlichen probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) können jedoch keine komplexen Ereignisabläufe dargestellt werden, wie sie zum Beispiel bei der Brandbekämpfung ablaufen. Hierbei finden Wechselwirkungen zwischen einem Prozess, technischen Einrichtungen sowie menschlichen Handlungen statt, die sich im zeitlichen Verlauf ändern.

Um unter diesen Bedingungen eine realistischere Betrachtung eines Brandereignisses möglich zu machen, hat die GRS einen methodischen Ansatz für eine integrale deterministisch-probabilistische Sicherheitsanalyse (IDPSA) erarbeitet. Das hierzu von der GRS entwickelte probabilistische Analysewerkzeug MCDET (Monte Carlo Dynamic Event Tree) ermöglicht bei Kopplung mit einem geeigneten deterministischen Rechenprogramm eine realitätsnahe Modellierung.

Test eines Brandszenarios im KKW

Im Rahmen eines vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Vorhabens wurde erstmals eine IDPSA für ein Brandszenario in einem Kernkraftwerk unter Einbeziehung von Maßnahmen zur Brandbekämpfung durch das Anlagenpersonal durchgeführt.

Analyse der Kabeltemperaturen

In einem ersten Schritt wurden dazu unter Berücksichtigung der Unsicherheiten für drei verschiedene Szenarien die Temperaturen deterministisch analysiert, die während des Brandereignisses in diesen Kabeln herrschen, (siehe Abbildung 5). In dem ersten Szenario wird unterstellt, dass ein sogenannter Brandläufer den Brand erfolgreich bekämpft. Im zweiten Szenario wird der Brand erst durch eine Löschgruppe der Feuerwehr gelöscht. Das dritte Szenario sieht schließlich das Ausbleiben einer erfolgreichen Brandbekämpfung vor. Den Analysen liegt außerdem die Annahme zu Grunde, dass das Feuerlöschsystem nicht automatisch aktiviert wird.

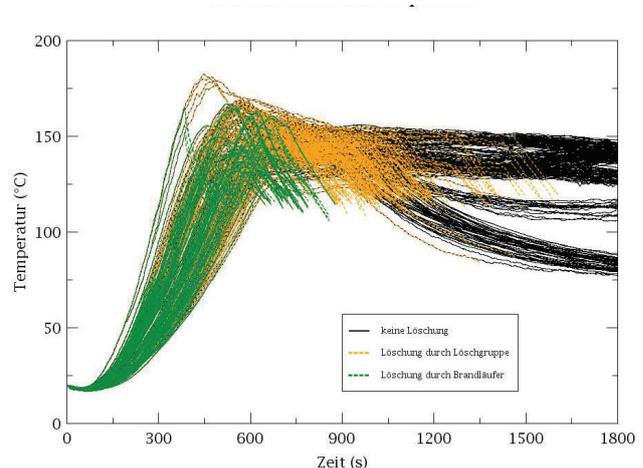


Abbildung 5: Endpunkte der einzelnen Temperaturverläufe kennzeichnen den Zeitpunkt, an dem der Brand als gelöscht angenommen wird (Quelle: GRS).

Es zeigt sich erwartungsgemäß, dass ein Brandläufer früher erfolgreich löschen kann als eine Löschgruppe (Feuerwehr) und dass bei ausbleibender Brandbekämpfung auch über einen sehr langen Zeitraum hohe Kabeltemperaturen gegeben sind. Weiterhin zeigt sich, dass auch bei erfolgreicher Löschung keine niedrigeren Maximaltemperaturen erreicht werden. Der Grund ist, dass sich die Maximaltemperaturen in den ersten Minuten ergeben und weder Brandläufer oder Löschgruppe bis dahin löschen konnten.

Ermittlung der Schadenswahrscheinlichkeiten

Aus den Ergebnissen einer IDPSA lassen sich ereignisspezifische Schadenswahrscheinlichkeiten für sicherheitstechnisch relevante Einrichtungen abschätzen. In dem vorliegenden Beispiel werden diese herangezogen, um insbesondere die Häufigkeit eines brandbedingten Kernschadens zu ermitteln.

Außerdem können einzelne Brandbekämpfungsmaßnahmen bezüglich ihrer Wirksamkeit bewertet werden. So zeigt das Ergebnis der IDPSA in dem hier vorgestellten

Testfall, dass im Szenario »keine Löschung« die erreichten maximalen Raumtemperaturen zu 98 % über 200 °C liegen bzw. Werte zwischen 200 °C und 240 °C erreichen. Durch den Einsatz des Brandläufers, der den Brandraum gegenüber der Löschgruppe früher erreicht und mit der Löschung des Brandes beginnen kann, wird die Raumtemperatur mit ca. 57 % Wahrscheinlichkeit unterhalb 200 °C gehalten.

Der entwickelte methodische Ansatz soll zukünftig auch zur Bewertung weiterer Störfallszenarien herangezogen werden.

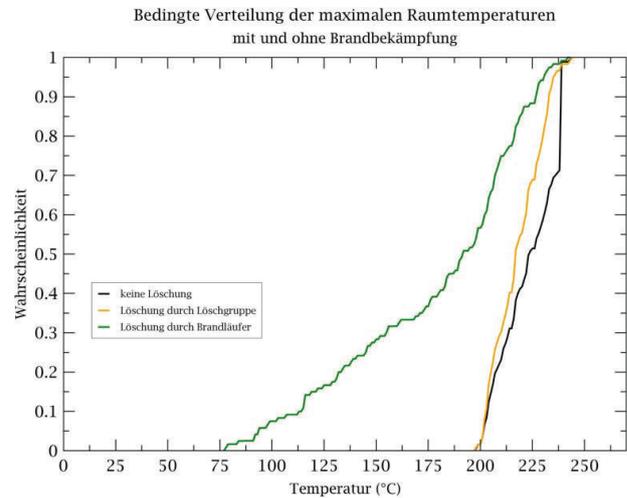


Abbildung 6: Entwicklung Raumtemperaturen bei unterschiedlichen Szenarien (Quelle: GRS).

Fukushima Folgevorhaben: Analysen der Unfallabläufe in den Reaktoren 2 und 3

Welche Kernschäden in den betroffenen Blöcken des Kernkraftwerks Fukushima Daiichi während des Reaktorunfalls aufgetreten sind, kann derzeit nur aus indirekten Beobachtungen sowie auf der Grundlage von Berechnungen mit entsprechenden Simulationsprogrammen abgeschätzt werden. Im Juni 2012 hat die Nuclear Energy Agency der OECD das Projekt »Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi NPS (BSAF)« ins Leben gerufen, an dem neben anderen Fachorganisationen aus den USA, Frankreich, Japan, Korea, Russland, der Schweiz, Spanien, und den USA auch die GRS mitgewirkt hat. Ziel des zweijährigen Projekts war es, den Unfallablauf in den Blöcken 1 bis 3 für die ersten sechs Tage nach Unfallbeginn mit unterschiedlichen Simulationsprogrammen zu berechnen und die Ergebnisse mit gemessenen Anlagendaten abzugleichen. Die Simulationen und der Vergleich mit den Messdaten dienen dazu, die Erkenntnisse über den Grad der Kernschädigungen und ggf. des RDB-Versagens zu vertiefen.

Arbeiten der GRS

Gefördert mit Mitteln des Bundeswirtschaftsministeriums hat die GRS in dem Projekt gekoppelte Analysen zu den Unfallabläufen in den baugleichen Reaktorblöcken 2 und 3 erstellt. Die Berechnungen wurden mit den Codesystemen ATHLET-CD und COCOSYS durchgeführt. Mit den zur Verfügung gestellten Anlagendaten wurde, basierend auf den Erfahrungen der GRS aus Unfallanalysen im Rahmen von Probabilistischen Sicherheitsanalysen für Siedewasserreaktoren, ein entsprechender Datensatz aufgestellt.

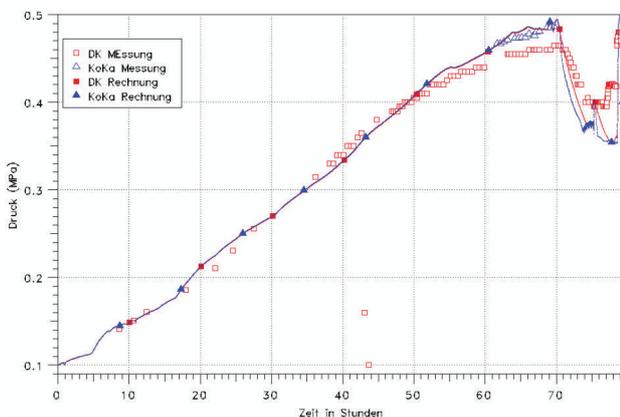
Daneben war es erforderlich, realistische Annahmen für bestimmte Faktoren zu treffen, die den Unfallablauf und das Ausmaß der Kernschäden maßgeblich bestimmen haben, für die jedoch keine bzw. keine verlässlichen Messdaten vorliegen. Dies betrifft beispielsweise die Einspeiseraten der dampfbetriebenen Notkühlssysteme während bestimmter Zeiträume und die Massendurchsätze der zum Sprühen im Containment von Block 3 genutzten

Feuerlöschpumpen. Alle Massenströme wurden im Wesentlichen aus dem Vergleich mit Messwerten z. B. des Druckes in RDB und Sicherheitsbehälter in den Blöcken 2 und 3 bestimmt.

Ergebnisse der GRS-Analysen

Mit den im Rahmen des BSAF-Projektes zur Verfügung gestellten Informationen über die Reaktoren und die Unfallabläufe war es möglich, die Modellierung des Reaktor-druckbehälters und des Sicherheitsbehälters/Reaktorgebäudes für die Analysen weiterzuentwickeln.

Die Unfallanalysen konnten für den Zeitbereich einiger Tage bis zu einem vorhergesagten RDB-Versagen mit erwartetem Schmelzeaustrag bei Block 3 (nach ca. 2 Tagen) bzw. einem ersten Wiederfluten des teilzerstörten Reaktorkerns in Block 2 (nach mehr als 3 Tagen) erstellt werden. Einen beispielhaften Ausschnitt aus den Ergebnissen der GRS-Analysen sind in Abbildung 7 dargestellt. Darin wird der zeitliche Verlauf des Druckes in der Druckkammer und in der Kondensationskammer den tatsächlich gemessenen Daten gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass der Druckverlauf bis zum Wiederfluten des teilzerstörten Kerns in Block 2 und bis zur Druckentlastung der Kondensationskammer in Block 3 sehr gut wiedergegeben wird. Eine ausführlichere Darstellung der Analyseergebnisse ist in Kapitel 4 der 4. Auflage des GRS-Berichts »Fukushima-Daiichi 11. März 2011 – Unfallablauf, Radiologische Folgen« zu finden.



Vergleich der Projektergebnisse

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Projektpartner größere Unterschiede im Hinblick auf den Umfang der Kernzerstörung, die dabei entstandene Menge an Wasserstoff sowie den Zeitpunkt und die Möglichkeit einer Beschädigung des RDB gefolgt von einem Schmelzeaustrag in den Sicherheitsbehälter. Dies wird bedingt durch unsichere Informationen hinsichtlich des Ausmaßes, des Zeitpunktes und den Auswirkungen einer Wiederbespeisung der RDB. Gleichwohl bestätigen die Analysen klar die Annahme, dass es in allen drei Blöcken zu erheblichen Kernschäden und einer Beschädigung des RDB gekommen ist. Auch wenn sich der Kernzerstörungszustand noch nicht gesichert bestimmen lässt, so zeigt sich eine eindeutige Tendenz hin zu einer lokalen (in Block 2) bzw. starken (in Block 3) bis vollständigen (in Block 1) Kernzerstörung mit massiver Schmelzeumlagerung in den Sicherheitsbehälter (in Block 1 und vermutlich in Block 3) und zeitlich begrenzter Betonerosion. Eine Beschädigung des RDB oder seiner Durchführungen ist mit höherer Wahrscheinlichkeit auch für Block 2 anzunehmen.

Ausblick: BSAF Phase 2

Um das durch die genannten Unsicherheiten bedingte Spektrum an möglichen Ereignissen in den Unfallabläufen weiter eingrenzen zu können, werden seit dem Frühjahr 2015 in weiteren Analysen im Rahmen der zweiten Phase des BSAF-Projektes die Freisetzung von Spaltprodukten in den Unfallanalysen berücksichtigt. Dazu sollen

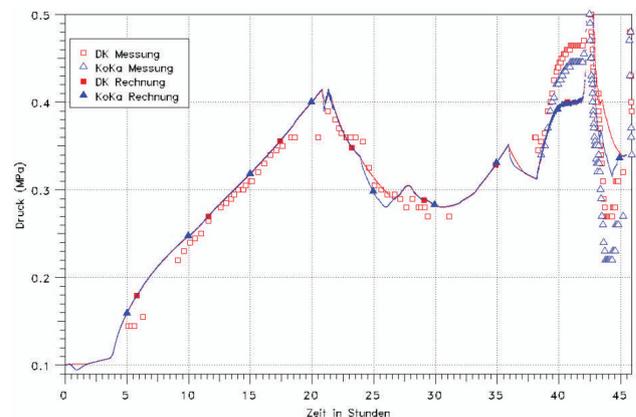


Abbildung 7: Berechneter und gemessener Druckverlauf in der Druckkammer (DK) und der Kondensationskammer (KoKa), Block 2 (links) und Block 3 (rechts) (Quelle: GRS).

die atmosphärische Ausbreitung der nach den verschiedenen Simulationen freigesetzten Radionuklide und deren nachfolgende Ablagerung berechnet werden. Ein anschließender Vergleich mit den tatsächlichen gemessenen

radioaktiven Belastungen im Umkreis der Anlagen soll dann eine weiter verbesserte Einschätzung erlauben, wie realitätsnah die jeweilige Simulation und damit die bei ihrer Erstellung getroffenen Annahmen sind.

Sicherheitsanforderungen bei Partitionierung und Transmutation (P&T)

Weltweit werden Verfahren zur sogenannten Partitionierung und Transmutation (P&T) von abgebranntem Kernbrennstoff aus Kernkraftwerken erforscht. Mit der Entwicklung dieser Technologie wird die Hoffnung verbunden, das langfristige Gefahrenpotenzial dieser hochradioaktiven Abfälle zu verringern und damit deren Entsorgung bzw. Endlagerung zu erleichtern.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und das Bundesministerium für Bildung und Forschung haben eine interdisziplinäre Studie finanziert, die die Chancen und Risiken der Anwendung von P&T genauer untersucht. An dieser Studie, die von der Akademie der Technikwissenschaften (ACATECH) koordiniert wurde, hat sich neben zahlreichen anderen Fachinstitutionen auch die GRS mit zwei Teilstudien beteiligt. Die inhaltlichen Schwerpunkte der Beiträge der GRS lagen zum einen auf Fragen der Sicherheit von P&T-Anlagen, zum anderen auf der Frage, ob und in welchem Umfang eine Anwendung dieser Methode im industriellen Maßstab die Anforderungen an die Endlagerung bzw. Endlagerkonzepte veränderten.

Auswirkung auf Endlagerkonzepte

Die Arbeiten zu den möglichen Auswirkungen auf die Entsorgung der Abfälle, die grundsätzlich der P&T unterzogen werden könnten, wurden gemeinsam mit der DBE TECHNOLOGY GmbH durchgeführt. Zusammengefasst kommt die unter dem Titel »Auswirkungen von Partitionierung und Transmutation auf Endlagerkonzepte und Langzeitsicherheit von Endlagern für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle« veröffentlichte Studie, zu dem

Ergebnis, dass eine Anwendung von P&T in Deutschland nach letztlich nicht zu einer signifikante Erleichterung bei der Entsorgung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle führt.

Ein wesentlicher Grund liegt darin, dass durch P&T hauptsächlich solche Radionuklide transmutiert werden, die sich in bisherigen Transportrechnungen als für die Langzeitsicherheit von Endlagern in Deutschland weniger relevant gezeigt haben. Die Mengen der in den Langzeitsicherheitsanalysen relevanten Spalt- und Aktivierungsprodukte werden hingegen durch eine Nutzung von P&T nicht verringert, sondern gegebenenfalls sogar vergrößert.

Darüber hinaus wäre auch bei unterstellter Anwendung von P&T nach wie vor ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle erforderlich für

- /// die heute bereits existierenden Wiederaufarbeitungsabfälle und die ausgedienten Brennelemente aus den Versuchs- und Prototypkraftwerken sowie Forschungsreaktoren,
- /// für die wärmeentwickelnden Abfälle aus der für P&T erforderlichen Wiederaufarbeitung sowie
- /// für zusätzliche Hülsen und Strukturteile aus der Zerlegung der Brennelemente und aus der letzten Beladung des Transmuters.

Außerdem würde bei Anwendung von P&T ein weiteres Endlager für die zusätzlichen großen Volumina an radio-

aktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung erforderlich werden.

Empfehlungen zur Sicherheit von P&T-Anlagen

Im Hinblick auf die Sicherheit von P&T-Anlagen hat die GRS einen umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf herausgearbeitet. Dies betrifft insbesondere die Weiterentwicklung und Validierung von Rechenverfahren zur Bewertung der Sicherheit beim Betrieb und möglichen Stör- und Unfällen. Konkret umfassen die Empfehlungen hierzu

- ⚡ die Weiterentwicklung der neutronen-physikalischen sowie thermohydraulischen Rechenverfahren,
- ⚡ die Modellierung der (je nach Verfahren für die Transmutation benötigte) Spallationsneutronenquelle einschließlich des Raum-Zeit-Verhaltens des Protonenstrahls,

⚡ die Entwicklung bzw. Durchführung thermomechanischer Reaktor-Simulationen und deren Kopplung mit den neutronenphysikalisch thermohydraulischen Rechenwerkzeugen und

⚡ eine umfassende Validierung der jeweiligen Rechenverfahren.

Neben diesen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten kann aus Sicht der GRS auf der Ebene des Regelwerks auch eine Überarbeitung ausgewählter kerntechnischer Sicherheitskriterien erforderlich sein. So bewirkt beispielsweise die größere Anzahl von Alphazerfällen im Transmutationsbrennstoff eine erhöhte Helium-Produktionsrate, die wiederum zu einem Schwellen der Brennstoff-Matrix führt. Werden hierbei die für Leichtwasserreaktoren als sicherheitstechnisch unbedenklich angesehenen Werte überschritten, sind hier neue Dehngrenzen festzulegen.

Info

Partitionierung & Transmutation (P&T)

P&T umfasst zwei grundlegende Schritte. In einem ersten Schritt werden bei der Partitionierung die schweren und langlebigen Radionuklide abgetrennt. Anschließend werden in einem zweiten Schritt sogenannte schnelle Neutronen eingesetzt, um die langlebigen Radionuklide in leichtere und kurzlebige zu spalten. Diese Umwandlung bezeichnen die Experten als Transmutation. Ziel dabei ist es, die sogenannte Radiotoxizität der hochradioaktiven Abfälle zu verringern. Die Radiotoxizität ist ein Maß für die »Gefährlichkeit« des Abfalls bei einer möglichen Aufnahme in den menschlichen Körper (z. B. durch Einatmen oder Nahrungsaufnahme). Bislang existiert noch keine industriereife Transmutationsanlage. Am belgischen Forschungszentrum SCK-CEN in Mol planen Forscher seit über zehn Jahren den Versuchsreaktor MYRRHA (Multipurpose Hybrid Research Reactor for Hightech Applications), mit dem offene Fragen zu den physikalischen Grundlagen beantwortet und die technische Machbarkeit des Verfahrens demonstriert werden sollen.

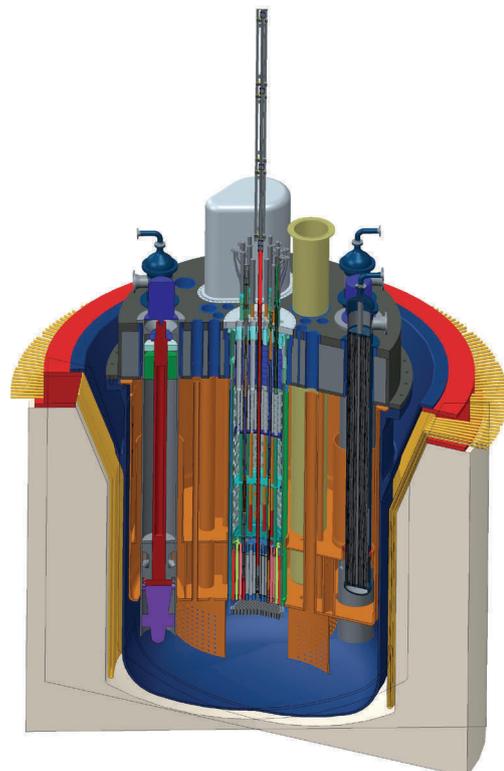


Abbildung 8: Skizze des technischen Aufbaus des MYRRHA-Reaktors (Quelle: SCK-CEN).

Untersuchung zur Sicherheit von Fusionskraftwerken

Bereits seit Jahrzehnten gilt das Prinzip der Kernfusion als Hoffnungsträger für die Energieversorgung. Gründe hierfür sind die leichte und nahezu unbegrenzte Verfügbarkeit der dazu benötigten »Brennstoffe« und die im Verhältnis zur potenziellen Ausbeute an Energie sehr geringen Mengen an Abfällen und Emissionen. Gegenwärtig sollen mit verschiedenen nationalen und internationalen Projekten wie dem Joint European Torus (JET) und ITER die Weiterentwicklung hin zu einer anwendungsreifen Technologie vorangetrieben werden. In Deutschland soll der in Greifswald entstehende Fusionsreaktor Wendelstein 7-X dazu beitragen.



Abbildung 9: ITER Baustelle (Foto: ITER Organization).

Damit zukünftig Fusionsreaktoren zur Stromversorgung zur Verfügung stehen können, müssen nicht nur zahlreiche technisch-physikalische Herausforderungen bewältigt sondern auch die technischen und regulatorischen Voraussetzungen für einen sicheren Betrieb geschaffen werden. Gemeinsam mit weiteren Projektpartnern hat die GRS im Jahr 2013 eine Studie zur Sicherheit von Fusionskraftwerken erstellt. Das im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) umgesetzte Vorhaben umfasste eine Auswertung des aktuellen Stands von Wissenschaft und Technik zur Sicherheit von Fusionskraftwerken. Untersuchungsgegenstand der Studie waren die in Europa vorrangig verfolgten Fusionskonzepte Tokamak und Stellarator (siehe Abbildungen 10 und 11).

Projektpartner und Arbeitspakete

Projektpartner der GRS im Vorhaben waren das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP), das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und das Öko-Institut. In mehreren Arbeitspaketen befassten sich die Projektpartner unter anderem damit, welche Stör- und Unfälle beim Betrieb von Fusionskraftwerken auftreten können und wie diese Ereignisse vermieden, beherrscht und in ihren radiologischen Auswirkungen für Mensch und Umwelt begrenzt werden können. Dazu wurden für einzelne Störfallszenarien mögliche Ursachen, Ereignisabläufe und er-

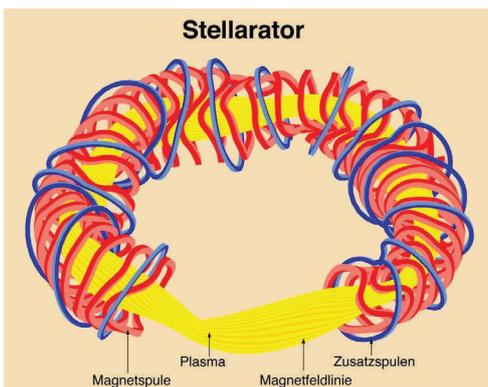


Abbildung 10: Fusionskonzept Stellarator (Quelle: IPP).

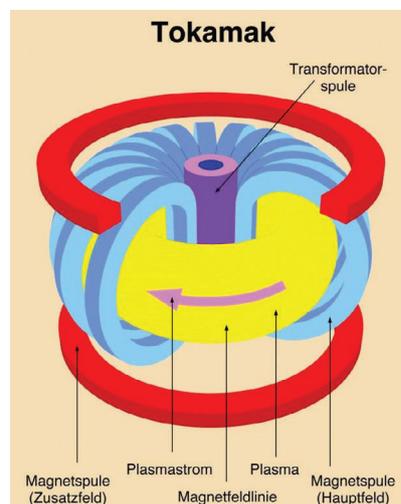


Abbildung 11 Fusionskonzept Tokamak (Quelle: IPP).

wartete Auswirkungen auf die Anlage, das Personal und die Umgebung dargestellt. Eine Zusammenstellung der zur Beherrschung von Stör- und Unfällen vorgesehenen Maßnahmen war ebenfalls Teil des Projekts.

Übertragbarkeit des Sicherheitskonzeptes für Kernkraftwerke auf die Fusion

Die GRS beschäftigte sich im Rahmen der Studie schwerpunktmäßig mit der Frage, inwieweit sich das Sicherheitskonzept heutiger Kernkraftwerke auf den Bau und den Betrieb von Fusionskraftwerken übertragen lässt. Dabei zeigte sich, dass zwar sowohl für Fusionskraftwerke als auch in der Kerntechnik Sicherheitskonzepte zum Einsatz kommen, die jeweils ein System von gestaffelten Sicherheitsebenen vorsehen. So werden auch für Fusionskraftwerke mögliche auslösende Ereignisse entsprechend dem Konzept der Kerntechnik in verschiedene Sicherheitsebenen unterteilt, die vom Normalbetrieb bis zum auslegungüberschreitenden Störfall reichen. Die Zuordnung zu den einzelnen Sicherheitsebenen erfolgt dabei nach probabilistischen Kriterien und den möglichen radiologischen Konsequenzen. Die für die Zukunft vorgesehenen technischen Ausgestaltungen der Sicherheitskonzepte für die Kernfusions- und Kernspaltungskraftwerke weisen allerdings deutliche Unterschiede auf.

Diese Unterschiede ergeben sich aus den physikalischen und technischen Eigenschaften der Kernfusion. Beson-

ders relevant im Hinblick auf mögliche radiologische Konsequenzen ist das bei der Kernfusion im Vergleich zur Kernspaltung deutlich niedrigere radioaktive Inventar, d. h. die Art und die Menge der in einem Fusionskraftwerk verwendeten und entstehenden radioaktiven Stoffe. Dazu zählt zum einen das bei der Fusion als »Brennstoff« verwendete Tritium; zum anderen werden durch die bei der Fusionsreaktion entstehenden Neutronen Teile von Komponenten im Inneren des Fusionsreaktors aktiviert. Das von diesem Inventar ausgehende Gefährdungspotenzial liegt deutlich unter dem, das für Kernkraftwerke anzunehmen ist. Weitere für die Beurteilung der Sicherheit bzw. des generellen Gefährdungspotenzials von Fusionskraftwerken relevante Unterschiede bestehen in der bei der Fusion niedrigeren nuklearen Leistungsdichte und den unterschiedlichen potenziellen Freisetzungspfaden.

Ausblick

Die Ausarbeitung detaillierter Kraftwerkskonzepte für die Fusion wird auch die Ausarbeitung eines konkreten Sicherheitskonzepts umfassen. Dabei besteht unter anderem weitergehender Forschungsbedarf im Hinblick auf das Freisetzungspotenzial und den sich daraus ergebenden spezifischen Konsequenzen für das Sicherheitskonzept. Darüber hinaus wird eingehender untersucht werden müssen, welche Folgen sich aus externen Einwirkungen wie Erdbeben oder Flugzeugabstürze ergeben könnten.

Info

Kernfusion

Im Gegensatz zur Kernspaltung, bei der schwere Kerne wie Uran in mehrere meist radioaktive Spaltprodukte aufgespalten werden, verschmelzen bei der Kernfusion zwei leichte, aus wenigen Nukleonen bestehende Atomkerne, Deuterium und Tritium, zu einem neuen stabilen Kern, Helium (siehe Abbildung 12). Bei der Kernfusion können große Energiemengen freigesetzt werden. Natürliche Kernfusionen finden beispielsweise in der Sonne statt. Sie besteht größtenteils aus Wasserstoffatomen, die zu Heliumkernen verschmelzen. Die dabei freiwerdende Energie nehmen wir auf der Erde als Sonnenwärme und Sonnenlicht wahr.

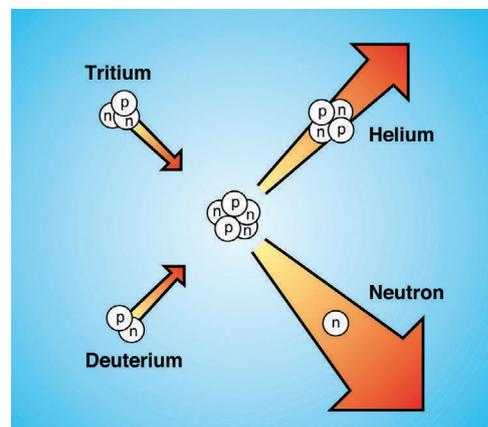


Abbildung 12: Funktionsprinzip Kernfusion: Die Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium verschmelzen am leichtesten und sollen daher in einem Fusionskraftwerk genutzt werden (Quelle: IPP).

Weiterentwicklung und Validierung von Simulationsprogrammen

Das Alleinstellungsmerkmal der GRS in Deutschland auf dem Gebiet der Reaktorsicherheitsforschung ist die Kompetenz, alle für den Betrieb, für Transienten sowie Stör- und Unfälle relevanten Prozesse in Kernkraftwerken (KKW) simulieren zu können. Dies gilt nicht nur für die in Deutschland derzeit noch betriebenen Druck- und Siedewasserreaktoren, sondern auch viele der im Ausland betriebenen KKW sowie die dort gegenwärtig stattfindenden Entwicklungen (u. a. den Bau von Reaktoren und die Entwicklung von Anlagen der 3. und der 4. Generation).

Die GRS nutzt für diese Aufgaben vor allem Programmsysteme wie ATHLET-CD, COCOSYS und ASTEC, die sie selbst oder mit nationalen sowie internationalen Kooperationspartnern entwickelt und anhand zahlreicher Experimente validiert hat. Die Simulationsprogramme der GRS werden von verschiedenen Fachorganisationen und wissenschaftlichen Einrichtungen in Deutschland genutzt. Darüber hinaus werden diese sogenannten Codes aber auch in großem Umfang ausländischen Behörden, Gutachterorganisationen und Forschungsinstituten zur Verfügung gestellt. Seit 1978 wurden rund 180 Institutionen in der ganzen Welt Programme überlassen. Aktuell nutzen sie Anwender in 47 Ländern. Darüber hinaus setzt die GRS für ausgewählte Fragestellungen kommerzielle Simulationscodes wie ADINA oder ANSYS CFX ein.

Im Folgenden werden die wesentlichen Arbeiten und Ergebnisse der GRS aus der Weiterentwicklung und Validierung der von ihr verwendeten Codes im Berichtszeitraum dargestellt.

CFD-Codes

Entwicklung eines Modells für passiven autokatalytischen Rekombinatoren

Die GRS untersucht Möglichkeiten des künftigen Einsatzes dreidimensionaler thermohydraulischer Rechenprogramme, sogenannter Computational Fluid Dynamics (CFD)-Codes, zur Berechnung typischer Vorgänge und

Phänomene im Sicherheitsbehälter unter Stör- und Unfallbedingungen. Ausgewählte strömungsmechanische Probleme wie z. B. die Ermittlung von Strömungswiderständen in komplexen Raumgeometrien, die Bestimmung turbulenter Verteilungsvorgängen in Gasströmungen mit mehreren Komponenten (Luft, Dampf, H₂, CO) sowie von Verbrennungsprozessen unfallbedingt entstehender Gase (H₂, CO) erfordern zunehmend detaillierte dreidimensionale Analysen. Zusammen mit anderen Partnern des deutschen CFD-Verbundes erprobt die GRS das Programm ANSYS CFX für den Einsatz für Analysen zum Sicherheitsbehälter und entwickelt Modelle zur Berechnung von H₂-Rekombinationsvorgängen in Passiven Autokatalytischen Rekombinatoren (PAR) und von H₂-Verbrennungsvorgängen.

Prinzipiell ist es möglich, PARs und die in ihnen ablaufenden thermischen und strömungstechnischen Vorgänge detailliert abzubilden und in die Gesamtmodellierung des Sicherheitsbehälters zu integrieren. Da sich in einem Sicherheitsbehälter aber typischerweise eine größere Anzahl von PARs befindet (60 – 90) hat die GRS zur Begrenzung des Modellierungs- und Rechenaufwands ein möglichst einfaches PAR-Modell entwickelt und in CFX implementiert. Als Basis dieses Modells diente eine von AREVA zur Verfügung gestellte Korrelation, die die H₂-Abbauleistung über empirische Zusammenhänge beschreibt. Erweitert bzw. modifiziert wurde die Korrelation um weitere Terme, die eine Berücksichtigung der reduzierten Abbauleistung bei Start des Rekombinationsvorgangs oder bei einsetzender Sauerstoffarmut sowie der Effizienz der PAR bzgl. des H₂-Abbaus (Verhältnis der H₂-Konzentration zwischen Ein- und Austritt) ermöglichen.

Das PAR-Modell in CFX wurde durch die Nachrechnung von Versuchen aus dem OECD-THAI Programm validiert. Der in Abbildung 13 dargestellte Ausschnitt aus der CFX-Simulation zeigt das typische, durch einen aktiven PAR im THAI-Behälter hervorgerufene Verhalten: den Aufbau einer Schichtung, wobei sich

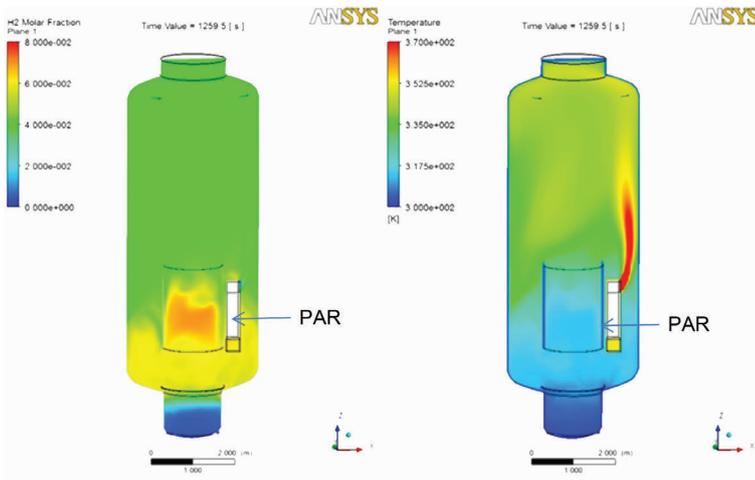


Abbildung 13: Ausschnitt aus einer CFX-Simulation eines Versuchs in der THAI-Anlage: H₂-Konzentration (li.) und Gastemperatur (re.) im THAI-Behälter während des Betriebs eines PAR (Quelle: GRS).

heißes, H₂-armes Gas oben im Behälter und das kältere, H₂-reiche Gas unten im Behälter ansammelt. Dies konnte durch die Simulation sehr gut wiedergegeben werden. Das neue PAR-Modell wird künftig weiter verifiziert und in das Gesamtmodell des Sicherheitsbehälters eines DWR integriert.

Erweiterung und Validierung zu Wasserstoff- und Dampfverteilungen, Wasserstoff-Verbrennungen und Druckbelastungen

Das Rechenprogramm ANSYS CFX wurde hinsichtlich der dreidimensionalen Simulation von Wasserstoff- und Dampfverteilungen im Sicherheitseinschluss bei Unfallszenarien, der Berechnung von Wasserstoff-Verbrennungen sowie der Ermittlung von Druckbelastungen auf Wände und Strukturen erweitert und validiert.

Wesentliche Phänomene des Ablaufs eines postulierten 50 cm² Leck mit vollständigem Ausfall der Wärmeabfuhr in einem Druckwasserreaktor Konvoi sind nachfolgend beschrieben. Abbildung 14 zeigt die räumliche Verteilung der H₂-Konzentration innerhalb des Reaktor-Sicherheitsbehälters (RSB) 3.530 Sekunden nach Ereignisbeginn. Mittels der im RSB angeordneten Rekombinatoren (Position 2), für die das oben genannte Modell implementiert wurde, wird H₂ im RSB abgebaut. Einen großen Einfluss

auf die Simulation der Gasverteilung im RSB haben Türen und Berstscheiben (3). Daneben berechnet CFX die Kondensation an Wänden und Böden (4) sowie der Stahlschale (5). Wichtige Komponenten wie das Brennelementlagerbecken (6), Reaktordruckbehälter (7), Dampferzeuger (8) und Kran (9) wurden im Analysemodell vereinfacht berücksichtigt. Über Brennbarkeitskriterien wurde aus der Gas- und Temperaturverteilung im RSB das Gefährdungspotential für die H₂-Verbrennung abgeschätzt.

Die bisherigen Analysen haben gezeigt, dass bei dem betrachteten Unfallszenario trotz der Rekombinatoren brennbare Gemische auftreten können. Die bei einer Wasserstoffzündung und -verbrennung berechneten Druck- und Temperaturverteilungen führen (unter Berücksichtigung vorlaufender Studien zur Grenztragfähigkeit des Sicherheitsbehälters bei peakartigen lokalen Belastungen) nicht zu einer Gefährdung der Integrität des Sicherheitsbehälters.

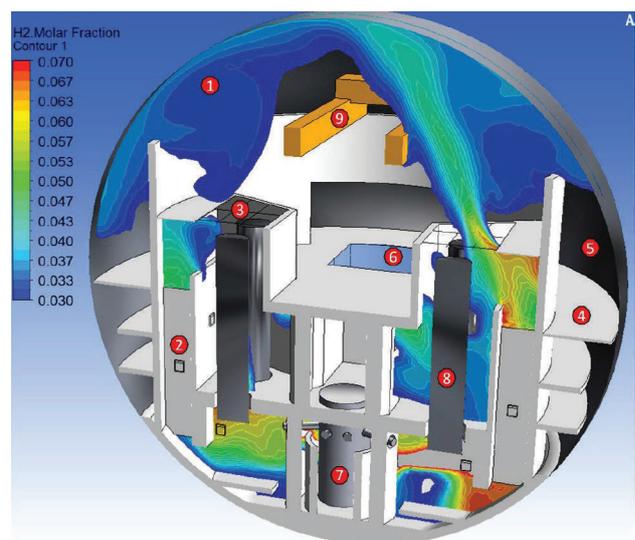


Abbildung 14: Simulation der Wasserstoffverteilung im Konvoi-Sicherheitsbehälter bei einem postulierten Unfallszenario (kleines Leck mit Ausfall Wärmeabfuhr) 3.530 Sekunden nach Unfallbeginn (Quelle: GRS).

ATHLET und ATHLET-CD

Erweiterungen von ATHLET

Einer der Schwerpunkte der Arbeiten zu ATHLET liegt auf einer detaillierteren Darstellung der Thermo-hydraulik im Kühlkreislauf bei Transienten und Störfällen. Die im Berichtszeitraum entwickelten Modelle für die Turbine und den Kondensator erlauben eine detaillierte thermohydraulische Simulation des Frischdampf- und Speisewassersystems eines Leichtwasserreaktors (LWR). Damit kann das Turbinenverhalten bei Lastabwurf auf Eigenbedarf detailliert nachgebildet werden. Des Weiteren wurde ein verbessertes Modell zur Berechnung von kritischen Ausströmraten aus Lecks aus Kreisläufen für überkritisches Wasser entwickelt, mit dem es nun möglich ist, hypothetisch Kühlmittelverluststörfälle in LWR mit überkritischem Druck zu analysieren. Die Nutzerfreundlichkeit der Bereitstellung von Eingabedaten für die Modelle mit mehrdimensionalen Erhaltungsgleichungen (2D/3D Modelle für den Ringraum und das untere Plenum) wurde verbessert. Hierzu wurde ein ATHLET-Preprozessor entwickelt und erfolgreich getestet, der die Objekte nun weitgehend automatisiert abbildet.

Eine weitere Erweiterung von ATHLET bestand in der Entwicklung einer generischen Schnittstelle, mit der Eigenentwicklungen anderer Anwender ohne vorherige Weitergabe des Quellcodes und unter Einsatz beliebiger Programmiersprachen implementiert werden können. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Wissenschaftliches Rechnen der TU München konnte die Handhabbarkeit und Flexibilität dieser Schnittstelle erfolgreich demonstriert werden. So wurde ein detailliertes Modell einer Rückschlagklappe (siehe Abbildung 15) unter Berücksichtigung der Schließcharakteristik in Form zusätzlicher Differentialgleichungen umgesetzt. Für die Zukunft ist der Einbau dieser Schnittstelle auch in die weiteren Systemcodes der GRS (z. B. für ATHLET-CD) geplant. Im Vergleich zu den entsprechenden, international eingesetzten Codes führt dies zu einer wesentlichen Erweiterung der Entwicklungs- und Einsatzmöglichkeiten.

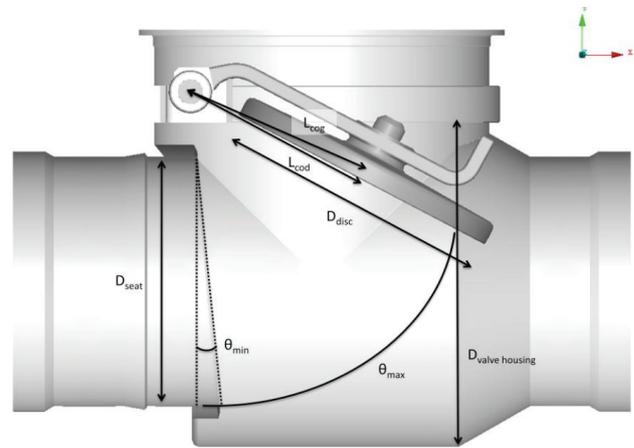


Abbildung 15: Modell einer Rückschlagklappe, das über ein PYTHON-Programm in ATHLET implementiert wurde (Quelle: GRS).

Erweiterungen von ATHLET-CD

Im Programm ATHLET-CD wurden eine Vielzahl von Verbesserungen fertiggestellt. Die Erweiterung des Modells für das untere Plenum ist eine wesentliche Voraussetzung zur Simulation des Störfalls im Kernkraftwerk Fukushima mit kontinuierlicher Schmelzeverlagerung in diesen Bereich des Reaktors. Darüber hinaus wurde die aktuell verfügbare Version des Modells SOPHAEROS zur Berechnung des Spaltprodukttransports im Primärkreislauf in ATHLET-CD implementiert und die Robustheit des Programms durch die Beseitigung von Diskontinuitäten bei der Verlagerung der Schmelze im Kern erhöht.

Im Rahmen der Arbeiten zur Validierung von ATHLET-CD nahm die GRS an dem OECD-U.S.NRC-SANDIA Fuel Projekt teil. Das Projekt umfasst Experimente mit begleitenden Analysen international verbreiteter Rechen-codes zur Untersuchung des thermohydraulischen Verhaltens von Brennelementen im auslegungsüberschreitenden Bereich. In Phase 2 des Projekts wird dabei das Verhalten von fünf Brennelementen untersucht, wobei das zentrale Brennelement in Luftatmosphäre solange aufgeheizt wird, bis es schließlich zur Entzündung und zum Hüllrohrbrand kommt. Die im Berichtszeitraum

durchgeführte Nachrechnung der Phase 2 zeigt, dass alle Institutionen mit den eingesetzten Codes das Experiment bis zum Zeitpunkt der Entzündung gut nachbilden konnten. Ab dem Zeitpunkt des einsetzenden Hüllrohrbrandes unterscheiden sich die Rechenergebnisse allerdings deutlich. Dabei zeigte das Experiment, dass ein deutlicher Einfluss durch die Nitritbildung in den sauerstoffarmen Bereichen gegeben ist. Bislang beinhaltet nur ATHLET-CD ein Modell zur Berücksichtigung der Nitritbildung. Die Ergebnisse des Projekts haben aber auch aufgezeigt, dass weiterhin grundlegender Untersuchungs- und Entwicklungsbedarf zum besseren Verständnis für den Bereich nach dem Beginn der Entzündung besteht.

Zur Weiterentwicklung und Validierung von ATHLET-CD wird auch auf Daten von Experimenten zurückgegriffen, die in der LIVE-Versuchsanlage (Large Scale Experiments on In-Vessel Melt Relocation and Retention) des Karlsruher Instituts für Technologie durchgeführt werden. Diese Daten tragen zu einem besseren Verständnis des Verhaltens von Kernschmelze nach der Verlagerung ins untere Plenum bei. So wurde im Test LIVE-L4 die Auswirkung der externen Wasserkühlung auf das transiente Schmelzeverhalten in verschiedenen Leistungsstufen untersucht, wobei ein besonderes Interesse der hierbei auftretenden Krustenbildung und dem Krustenwachstum im Schmelzpool galt. Im Zuge der Analysen des Versuchs LIVE-L4 wurden die Modelle für die Berechnung der Wärmeleitfähigkeit für den Stahlbehälter sowie für den Wärmeübergang zwischen Schmelze und Kruste verbessert. Hierdurch konnten die gemessenen Temperaturen und die nach dem Ende des Experiments ermittelte Krustendicke in befriedigender bis guter Übereinstimmung mit den Messwerten simuliert werden. Abbildung 16 zeigt einen Vergleich der maximalen und minimalen gemessenen und der von ATHLET-CD berechneten Krustendicke an der Innenwand des Behälters. Die künftigen Weiterentwicklungen von ATHLET-CD betreffen die Verbesserung des Modells für die Simulation von Schmelzepools im unteren Plenum. Diese Arbeiten sind die Grundlage für die Beurteilung von Maßnahmen zur Rückhaltung der Kernschmelze im Reaktordruckbehälter durch eine externe Außenkühlung (In-Vessel retention, IVR).

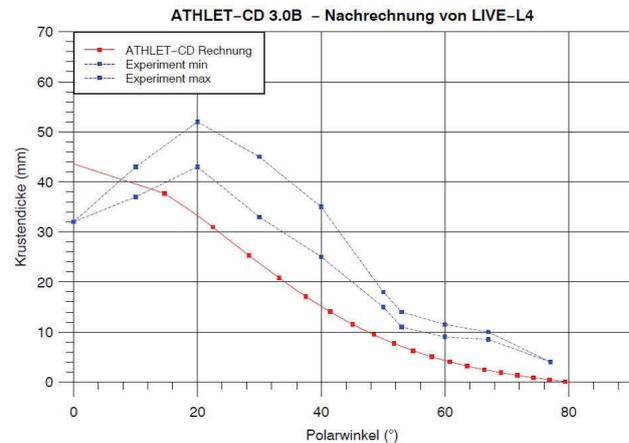


Abbildung 16: Ergebnisse aus der Simulation des Versuchs LIVE4 mit ATHLET-CD. Dargestellt ist die Krustendicke als Funktion des Winkels zur Horizontalen (Quelle: GRS).

Kopplung ATHLET – MCNP für stationäre Reaktorberechnungen

Im Fachgebiet Kernverhalten wurde gemeinsam mit dem Institut für Kernenergetik und Energiesysteme der Universität Stuttgart eine Methode für gekoppelte stationäre Reaktorberechnungen in einer brennstabweisen Auflösung entwickelt. Die Kopplung des Monte-Carlo-Programms MCNP, das den Neutronentransport mit im Energiebereich kontinuierlichen Kerndaten simuliert, mit dem Thermohydraulikprogrammsystem ATHLET ermöglicht nun die Durchführung von Berechnungen für stationäre Kernbetriebszustände mit brennstabweiser Ortsauflösung aller relevanten Parameter, ohne dass wesentliche Näherungen in der Orts- und Energieabhängigkeit nötig sind. Die entwickelte Kopplung erforderte größere Änderungen im Quellcode von MCNP, um die in den individuellen horizontalen Stabzell-Abschnitten unterschiedlichen Materialeigenschaften, wie Brennstoffdichte und Kühlmitteltemperatur und die unterschiedliche Nuklidzusammensetzung der unterschiedlich abgebrannten Brennelemente im notwendigen Umfang berücksichtigen zu können.

Das gekoppelte Programmsystem MCNP/ATHLET wurde bereits erfolgreich für Druckwasserreaktoren und Hochtemperaturreaktoren angewendet. Derzeit erfolgen Entwicklungsarbeiten für Siedewasserreaktoren und WWER-Reaktoren sowie zur Anwendung auf innovative

Systeme wie z. B. schnelle flüssigmetallgekühlte Reaktoren. Abbildung 17 zeigt die relative Stableistungsverteilung in einem SWR-Kern in Viertelkerndarstellung, die mit der Version des Codesystems erzeugt wurde.

Kopplung ATHLET – ANSYS CFX

Seit einer Reihe von Jahren führt die GRS Arbeiten zur Kopplung des eindimensionalen System Codes ATHLET und dem dreidimensionalen (3D) Simulationscode ANSYS CFX durch. Das gekoppelte Rechenprogramm ATHLET-ANSYS CFX ermöglicht eine Simulation des gesamten Kernkraftwerks unter Berücksichtigung komplexer 3D-Strömungseffekte im Kühlsystem, wie z. B. Kühlmittelvermischung oder Kühlmittelstratifizierung.

In Zusammenarbeit mit ANSYS Germany wurde eine neue Methode zur Kopplung der Programme entwickelt, die es ermöglicht, mehr als zwei Kopplungsstellen zwischen ATHLET und ANSYS CFX einzuführen. Damit können Großkomponenten wie z. B. ein 3D-DWR-Ringraum mit einem DWR-Primärkreis in 1D-Darstellung gekoppelt werden. Die neue Kopplungsstrategie wurde zunächst an dem PSI Double T-Junction Benchmark validiert. In diesem Experiment wurde impulsartig Bor eingespeist und die Verteilung der Borkonzentration in der Versuchsanlage gemessen. Der Vergleich zwischen berechneter und gemessener Borkonzentration belegte die Vorteile einer gekoppelten 1D-3D-Simulation gegenüber einer reinen 1D-Simulation.

Weitere Arbeiten an dem gekoppelten Programmsystem betrafen die Simulation von zweiphasigen Strömungen, wie sie unter Störfallbedingungen auftreten können. Die besondere Herausforderung liegt dabei in der Entwicklung geeigneter Kopplungsschemata. Da beide Rechenprogramme unterschiedliche numerische Lösungsverfahren (einschließlich der Diskretisierung) nutzen, ergeben sich hohe Anforderungen für einen Austausch

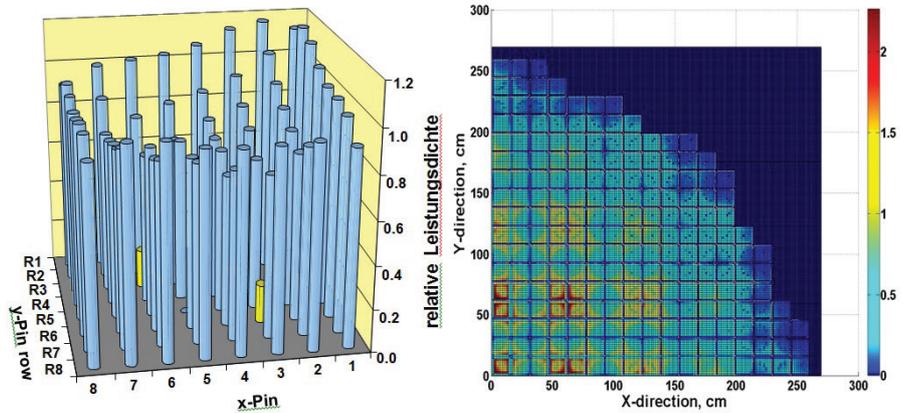


Abbildung 17: Ausschnitt aus einer Simulation mit dem neuen gekoppelten Programmsystem MCNP/ATHLET: relative Stableistung in einem SWR-Kern im stationären Betriebszustand, rechts im Überblick (rot = hohe relative Leistungsichte, blau = niedrige relative Leistungsichte), links im Detail im zentralen Brennelement (Quelle: GRS).

physikalischer Größen (Masse, Energie und Impuls) an den Kopplungsstellen, um numerische Instabilitäten und Oszillationen zu vermeiden. Für einen Demonstrations-test wurde eine Modellkonfiguration bestehend aus zwei ATHLET-Rohren und einem ANSYS CFX-Rohr erstellt (siehe Abbildung 18). Dieses System wird in der Simulation zunächst mit unterkühltem Wasser gefüllt, wobei das Wasser das System mit einer Geschwindigkeit von ca. 1 m/s durchströmt. Während der Rechnung wird das erste (linke) ATHLET-Rohr beheizt, was zu einer Erhöhung der

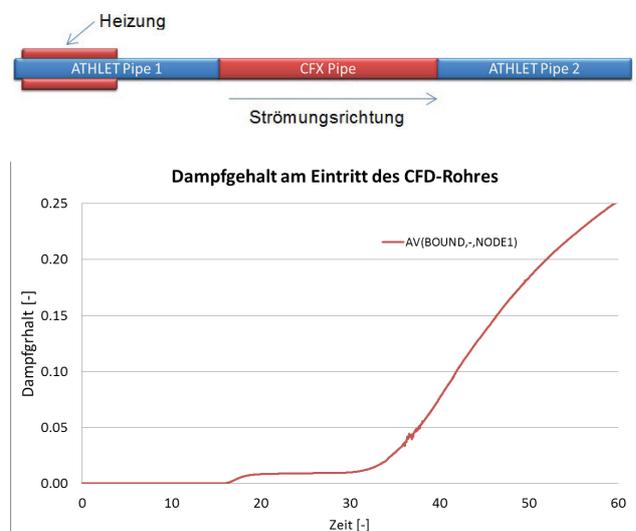


Abbildung 18: Test der zweiphasigen Kopplung von ATHLET und ANSYS CFX: Konfiguration der simulierten Rohre (oben) und Dampfgehalt am Eintritt des »CFX-Rohrs« (unten) (Quelle: GRS).

Wassertemperatur und zu einem Übergang von einphasiger zur zweiphasigen Strömung führt. Der Dampfgehalt wird dabei etwa 14 Sekunden lang auf 1 % gehalten und dann durch größere Heizleistung auf 25 % erhöht. Der untere Teil der Abbildung zeigt den errechneten Dampfgehalt am Eintritt des CFX Rohrs. Durch den Einsatz der neu entwickelten Kopplung traten in diesem Testfall keine numerische Instabilitäten und Oszillationen auf.

Im Rahmen des Europäischen Projekts »Thermal-Hydraulics of Innovative Nuclear Systems – THINS«, in dem die GRS u. a. mit der Universität Stockholm (KTH) und der Technischen Universität München zusammenarbeitet, wird ATHLET-ANSYS CFX zur Simulation von bleigekühlten Reaktoren erweitert. Dies betrifft unter anderem die Implementierung neuer Stoffwerteroutinen für flüssiges Blei sowie von Wärmeübergangskorrelationen in das gekoppelte Rechenprogramm. Ein wesentlicher Bestandteil ist hierbei die Validierung von ATHLET-ANSYS CFX anhand ausgewählter Versuche der Testanlage TALL (Thermal Hydraulic ADS Lead-Bismuth Loop) der KTH. Der Kühlkreislauf dieser Anlage ist mit Blei-Wismut-Eutektikum (BWE) gefüllt und mit einer beheizten 3D-Teststrecke ausgestattet, in der sich komplexe Vermischungs- und Stratifizierungsvorgänge einstellen. Während der Versuche wird die Flüssigmetalltemperatur an über 300 verschiedenen Stellen aufgezeichnet und später mit den Ergebnissen der numerischen Analysen verglichen. Abbildung 19 zeigt die mit ATHLET-ANSYS CFX berechnete 3D-Temperaturverteilung in einem Symmetriesektor der zylindrischen Teststrecke vor und nach der Abschaltung der Anlagenpumpe. In dem generischen Versuchsaufbau tritt das kalte BWE von unten in die Teststrecke ein, prallt auf die Metallplatte auf, vermischt sich mit dem warmen Flüssigmetall im Behälter, und verlässt ihn durch den oberen Auslass. Nach der Abschaltung der Pumpe (Abbildung 19, rechts) bildet sich aufgrund der kleinen Fluidgeschwindigkeiten ein komplett anderes Strömungsbild mit einer thermischen Schichtung des flüssigen Metalls. 3D-Phänomene können auch bei Transienten und Störfällen in Leichtwasserreaktoren, wie z. B. bei einem Dampfleitungsbruch, Deborierung oder Thermoschock nach einem Kühlmittelstörfall auftreten.

COCOSYS und ASTEC

Validierung zum Iodverhalten. Ein Meilenstein bei der Weiterentwicklung und Validierung der Programme im Berichtszeitraum war der Abschluss des 3-jährigen Forschungsvorhabens »Gezielte Validierung von COCOSYS

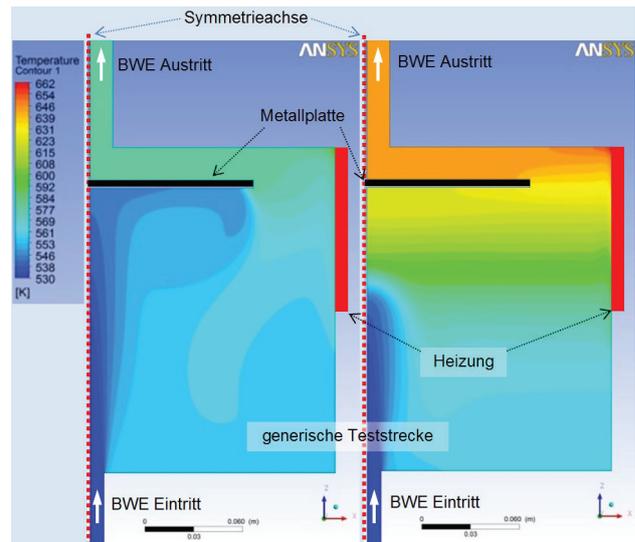


Abbildung 19: Ausschnitt aus einer Simulation eines Versuchs in der Testanlage TALL mit ATHLET CD-ANSYS CFX; dargestellt ist die Temperaturverteilung in der Teststrecke vor (links) und nach der Abschaltung der Anlagenpumpe (rechts) (Quelle: GRS).

und ASTEC sowie Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse zum Iodverhalten«. In diesem Projekt wurde erstmals eine Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse für das Iodmodul AIM (Advanced Iodine Modul) in COCOSYS durchgeführt. 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 konnten 93 unsichere Parameter identifiziert und berücksichtigt werden, 56 davon waren Reaktionskonstanten des Iodmodells AIM. Analysiert wurde dazu ein in dem französischen Forschungsreaktor Phébus durchgeführter 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 (I_2) im Sumpf,
- /// Ablagerung von I_2 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.

Modellierung eines Ventingfilters

Zur Berechnung der Freisetzung von Spaltprodukten in die Umgebung wurde ein Modell für Metallfaser-Ventingfilter implementiert und durch Nachrechnung zweier Experimente der amerikanischen »Advanced Containment Experiments« (ACE) erfolgreich validiert. Der in den ACE-Versuchen verwendete Filter ähnelt den in deutschen KKW eingesetzten Ventingfiltern. Bei postulierten Unfällen mit Kernzerstörung halten diese Filter beim sog. Venting (d. h. einer kontrollierten Druckentlastung des Sicherheitsbehälters) radioaktive Aerosole zurück. Das neu entwickelte Modell berechnet die partikelgrößen-spezifische Aerosol- und Tröpfchenabscheidung im Vor- und Feinfilter, den Druckverlust der Gasströmung, die Iodrückhaltung im Sorptionsfilter sowie den durch die Nachzerfallswärme verursachten Temperaturanstieg im Filter.

Vergleich ATHLET-CD/COCOSYS und ASTEC

Zur Validierung der Programme wurde ein Codevergleich zwischen ATHLET-CD/COCOSYS und ASTEC für ein postuliertes Unfallszenario mit Kernzerstörungs- und Quelltermrelevanten Prozessen in einem generischen Druckwasserreaktor durchgeführt. Dabei wurde ein 50 cm² Leck in einem kalten Strang unterstellt. Die Ergebnisse der frühen Störfallphase zeigen eine gute Übereinstimmung der Daten zwischen ASTEC und ATHLET-CD bezogen auf den Leckmassenstrom (siehe Abbildung 20) und das Ausdampfen der Dampferzeuger. Beide Programme prognostizieren einen ähnlichen Störfallauf bis zum Einsetzen der Kernaufheizung. Im nachfolgenden Zeitraum zeigen sich dann deutliche Unterschiede. Diese Unterschiede resultieren unter anderem aus den in den Rechencodes verfolgten Modellansätzen zur Be-

schreibung der Bildung von Schüttbetten in der Kernregion sowie der Bodenkalotte des RDB einschließlich der Ansammlung von aufgeschmolzenen Kernmaterialien im Kern sowie im unteren Plenum. Diese Abweichungen werden im Weiteren mit Hilfe von Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen analysiert und die hierfür verantwortlichen Parameter identifiziert.

Simulation eines »Station Blackout« in einem DWR

Im Berichtszeitraum wurde die gekoppelte Version der GRS-Codes ATHLET-CD und COCOSYS unter anderem auch dazu genutzt, im Auftrag des Bundesumweltminis-

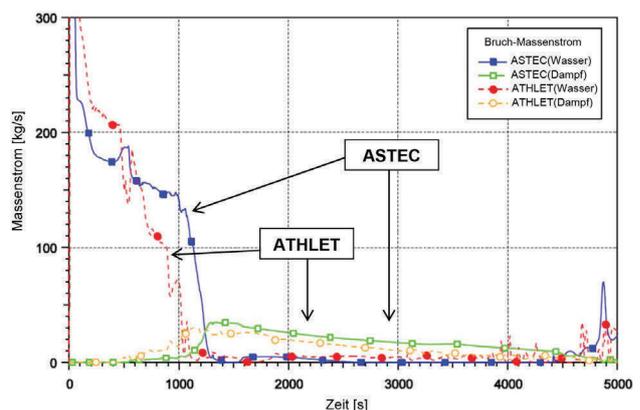


Abbildung 20: Vergleich der mit ASTEC und mit ATHLET-CD/COCOSYS berechneten Leckmassenströme für ein postuliertes Unfallszenario (Quelle: GRS).

teriums die Abläufe bei unterstelltem Mehrfachversagen von Sicherheitssystemen in einem Druckwasserreaktor zu analysieren. Hierzu wurde ein »Station Blackout« bis zum Durchschmelzen des Reaktordruckbehälters (RDB) analysiert. Die Analyseergebnisse zeigten, dass nach ca. 3 Stunden Kernschmelze bei hohem Druck einsetzt und in der Folge eine Kühlmittelleitung durch die Belastung mit heißen Gasen versagt. Einerseits wird durch das Rohrleitungsversagen der Sicherheitsbehälter (SHB) mit Spaltprodukten, Wasserstoff und Wasserdampf beaufschlagt; andererseits sinkt der Druck im Primärkreis schnell ab und die acht Druckspeicher speisen ein, wodurch der weitere Kernschmelzvorgang verzögert wird. Nach Versagen der unteren Kerngitterplatte nach ca. 6,5 Stunden verlagert sich die Kernschmelze in das untere Plenum des RDBs und führt nach ca. 8,5 Stunden zum Durchschmelzen der RDB-Wand auf Höhe der Oberfläche des

Schmelzesees (siehe Abbildung 21). Die Belastungen des SHBs können zunächst bis zum Durchschmelzen des RDBs abgetragen werden, so dass die Rückhaltefunktion gewährleistet bleibt (siehe Abbildung 21). Danach sind weitere, integritätsgefährdende Auswirkungen im SHB besonders durch Beton-Schmelze-Wechselwirkung und direkte SHB-Aufheizung durch die Schmelze zu erwarten. Die Auswirkungen auf den SHB nach RDB-Versagen werden von der GRS in einem Folgevorhaben untersucht.

COCOSYS und CoPool

Die sicherheitstechnische Bewertung der Reaktorkonzepte der Generation III bzw. von kleinen modularen Reaktoren (speziell von passiven Systemen) macht es erforderlich, die relevanten physikalischen Vorgänge detaillierter zu betrachten als bisher. Dies betrifft insbesondere die Berücksichtigung von Temperaturschichtungen

in großen Wasserpools und von Konzentrationsfeldern mit Dampf und Gasmischungen im Sicherheitsbehälter. Zur Simulation von Wasserpools entwickelt die GRS in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) ein dreidimensionales Poolmodell (CoPool) und koppelt dieses an COCOSYS. Eine erste exemplarische Anwendung des Modells für den unteren Bereich eines SWR Sicherheitsbehälters mit Wasserpool in der ringförmigen Kondensationskammer zeigt Abbildung 22. Das Modell erlaubt die Berechnung des Einspeisevorgangs von heißem Wasser in die Kondensationskammer und die sich hierbei einstellende thermische Schichtung (siehe Abbildung 23). Für die Zukunft sind weitere Validierungsrechnungen geplant, so beispielsweise im Rahmen des Forschungsverbundes EASY, in dem analytische Nachweise der Beherrschbarkeit von Auslegungsstörfällen allein mit passiven Sicherheitssystemen betrachtet werden.

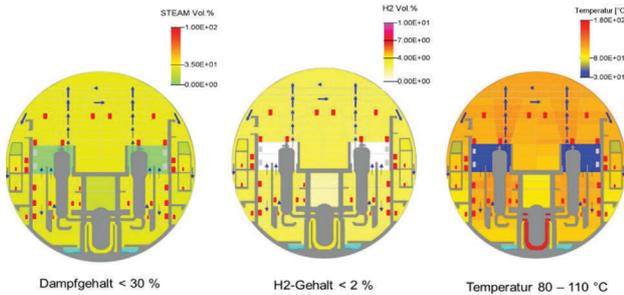
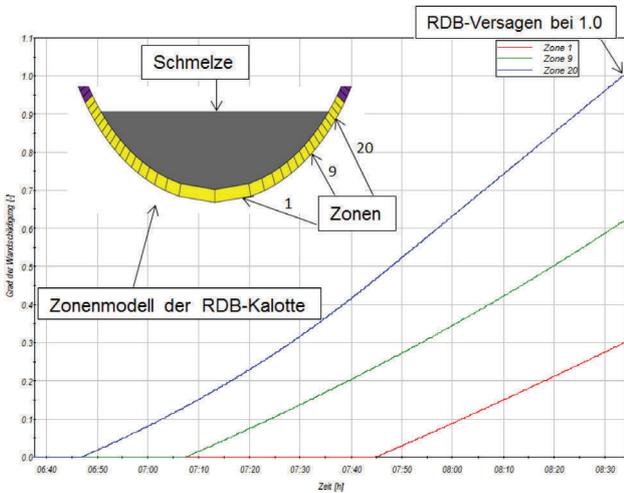


Abbildung 21: Ergebnisse aus der ATHLET-CD/COCOSYS-Simulation eines »Station Blackout« mit nachfolgendem Durchschmelzen des RDB mit Darstellung des Schädigungsmodells der RDB-Wand (oben) und dem Zustand des SHB kurz vor dem RDB-Versagen nach 8,5 Stunden (Quelle: GRS).

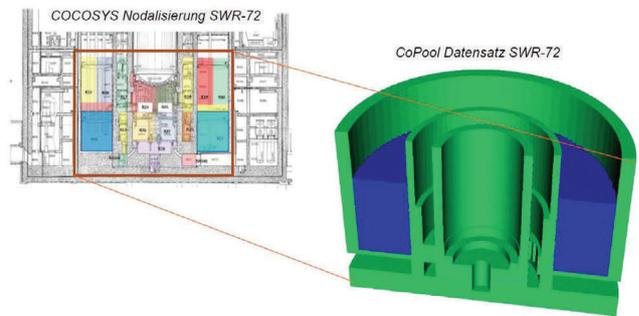


Abbildung 22: Kopplung von COCOSYS und CoPool am Beispiel der Abbildung der Kondensationskammer und der unteren Bereiche des Sicherheitsbehälters eines SWR (Quelle: GRS).

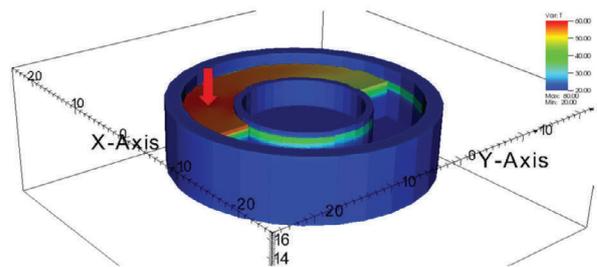


Abbildung 23: Temperaturschichtung im Wasser der Kondensationskammer (linke Hälfte) und der umgebenden Wand (rechte Hälfte) bei Heißwassereinspeisung (Quelle: GRS).

ADINA

Im Fachgebiet Strukturmechanik wurden Fortschritte bei der Simulation von gekoppelten strukturmechanischen und thermohydraulischen Phänomenen bei der Ausströmung aus rissartigen Lecks im Kühlkreislauf erreicht. Dabei wurde im Primärkreis eines DWR etwa in der Mitte der Volumenausgleichsleitung ein 180°-Umfangsdurchriss postuliert (siehe Abbildung 24). Mit dem erstellten strukturmechanischen Modell ergaben Analysen mit dem Rechenprogramm ADINA unter Normalbetriebsbelastungen eine Leckgröße von etwa 14 cm². Mit dieser (konstanten) Leckgröße wurden eine thermohydraulische Berechnung mit ATHLET durchgeführt und die zeitabhängigen Temperatur- und Druckverläufe im Primärkreis sowie im Sicherheitsbehälter ermittelt. Eine erneute strukturmechanische Berechnung mit den nun ermittelten zeitlich veränderlichen Druck- und Temperaturbelastungen im Primärkreis ergab, dass die Leckgröße infolge der abnehmenden Lastannahmen ebenfalls abnimmt und nach etwa 58 Minuten Störfallzeit eine um ca. 25 % kleinere Leckfläche vorhanden ist. Diese deutliche Verringerung der Leckfläche würde zu verringerten Leckagen aus dem Kreislauf führen und hat Einfluss auf das Anlagenverhalten. Dies wird in einem nächsten Arbeitsschritt untersucht.

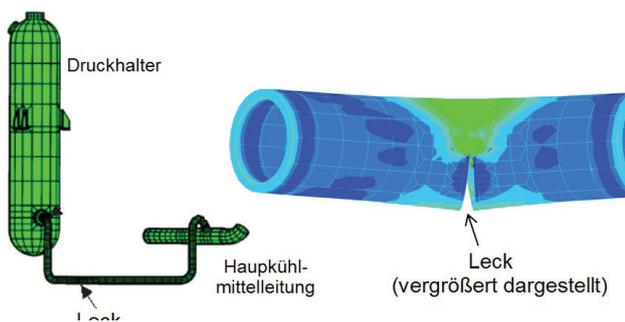


Abbildung 24: Ausschnitt aus dem ADINA-Analysemodell einer DWR-Kühlkreislaufschleife mit postuliertem Leck in der Volumenausgleichsleitung (Quelle: GRS).

PROST

In das Rechenprogramm PROST (Probabilistische Strukturberechnung) zur quantitativen Einschätzung der Strukturzuverlässigkeit in Form von Leck- und Bruchwahrscheinlichkeiten in Rohrleitungskomponenten wurden zusätzliche Modelle unter anderem zur Berücksichtigung der Schadensmechanismen Ermüdung und Korrosion sowie des stabilen Risswachstums implementiert und der so erweiterte Code validiert. Neben der Berechnung des Wachstums eines Oberflächenanfangsrisses bis zur Entstehung eines wanddurchdringenden Risses (Leck) kann PROST nun auch mögliches Leckwachstum berechnen. Dadurch verbessert sich die Aussagesicherheit der Bruchwahrscheinlichkeit. Darüber hinaus erlaubt die Restrukturierung von PROST die Analyse von Kombinationen verschiedener Schadensmechanismen.

XSUSA

Die Auslegung und der sichere Betrieb von Reaktoren hängen stark von der Qualität der Ergebnisse der numerischen Simulationscodes ab. Unter den verschiedenen Komponenten der Anlagensimulation ist die Beschreibung des Neutronentransportes und des Brennstoffabbrands im Reaktorkern von besonderer Bedeutung. Obwohl die Methoden und deren Umsetzung in den Computercodes ein sehr hohes Qualitätsniveau erreicht haben, bestehen weiterhin Unsicherheiten im Ergebnis aufgrund von Unsicherheiten in den Eingangsparametern, die nicht beseitigt werden können. Eine realistische Abschätzung dieser Unsicherheiten ist für die Beurteilung der Simulationsergebnisse deshalb unerlässlich. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wird der GRS-Code XSUSA weiterentwickelt und validiert. Dabei handelt es sich um ein Tool zur Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse bezüglich nuklearer Daten. Mit XSUSA wurden Kritikalitäts- und Abbrandberechnungen durchgeführt.

Mit Bezug auf die Unsicherheiten der Multiplikationsfaktoren sind die Ergebnisse in sehr guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen, welche mittels des auf Störungstheorie basierenden Codes TSUNAMI aus dem SCALE-Programmsystem erhalten wurden. In Kritikalitätsrechnungen für kritische Anordnungen wird festgestellt, dass die Auswirkungen der Kerndatenunsicher-

heiten auf die Unsicherheiten der Brennstableistungen allgemein klein sind; größere Unsicherheiten bestehen aufgrund der Messfehler (etwa Unsicherheiten in geometrischen Parametern wie Brennstabdurchmesser, Verbiegung, etc., Unsicherheiten in der Nuklidzusammensetzung). Dies wird anhand des VENUS-2-Benchmarks verdeutlicht, an dem die GRS teilgenommen hat. Abbildung 25 zeigt die normierten gemessenen Spaltraten in einer Reihe von Brennstäben (auf der horizontalen Linie) mit deren Messunsicherheiten sowie die entsprechenden berechneten Werte (durchgezogene Linie) mit deren Unsicherheitsband (gestrichelte Linien).

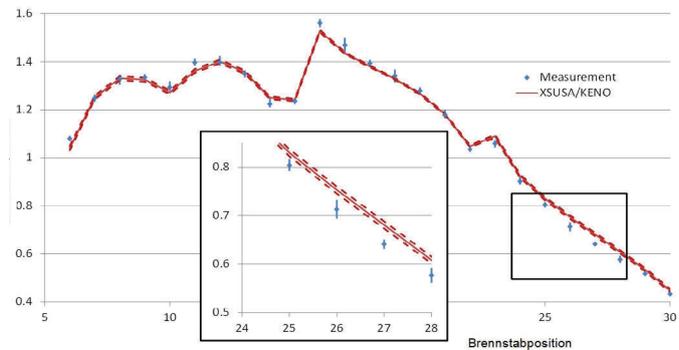


Abbildung 25: Im Rahmen des VENUS-2-Benchmarks gemessene und normierte berechnete Spaltraten und entsprechende Unsicherheiten (Quelle: GRS).

Beträchtliche Unsicherheiten ergeben sich allerdings bei der Berechnung der Nuklidkonzentrationen in abgebrannten Brennelementen. Abbildung 26 zeigt hierzu die Unsicherheiten für eine Auswahl von Nukliden am Ende der Lebensdauer eines SWR-Brennelements, die beispielsweise für I-129 ca. 18 % beträgt. Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen wurden ferner die wesentlichen Unsicherheitsverursacher für beliebige Ausgangsgrößen identifiziert: In der Abbrandberechnung werden die höchsten Beiträge zu den Unsicherheiten der Aktiniden-Inventare durch Unsicherheiten in den Neutronenwirkungsquerschnitten verursacht, während für die Unsicherheiten der Spaltproduktinventare entweder die Unsicherheiten der Neutronenwirkungsquerschnitte oder der Spaltausbeuten wesentlich sein können. Dies hängt im Detail von den Zerfallsketten ab.

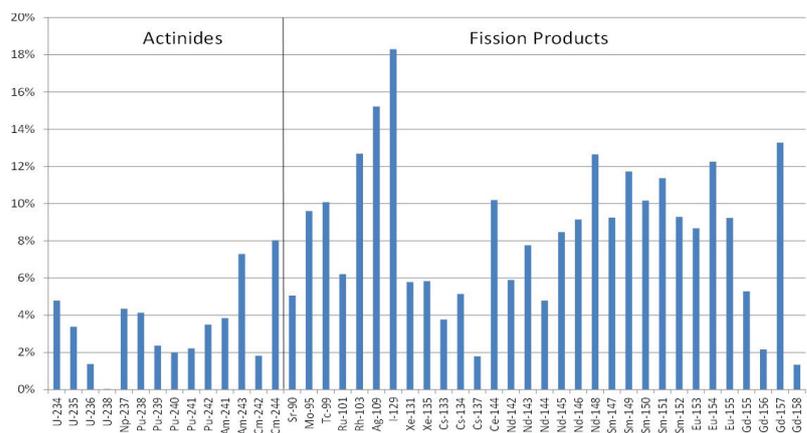


Abbildung 26: Im VENUS-2-Benchmark berechnete Unsicherheiten für das Nuklidinventar in einem SWR-Brennelement am Ende der Lebensdauer (Quelle: GRS).

EU-Projekt NURESAFE

In dem EU-Projekt NURESAFE (Nuclear Reactor Safety simulation platform) arbeitet die GRS sowohl mit deutschen Partnern (z. B. HZDR, KIT) als auch mit internationalen Partnern (z. B. CEA, IRSN, KTH, UPM, PSI) zusammen. Im Rahmen dieses Projekts hat die GRS

ihren thermohydraulischen Code ATHLET mit dem vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) entwickelten Neutronen-kinetischen Code DYN3D über die Salomé Plattform gekoppelt. Die Salomé Plattform ist eine Europäische Plattform für die Kopplung verschiedener Simulationsprogramme zur Reaktorsicherheit, die unter anderem auch Möglichkeiten für eine 3D-Visualisierung bietet.

Die Kopplung wurde anhand eines Demonstrationsbeispiels mit einem Kern getestet und verifiziert, der aus 3x3 MOX/UOX Brennelementen besteht und von einem Reflektor umgeben ist.

In einer Verifikationsrechnung wurde dabei die Kühlmitteltemperatur am Kerneintritt variiert (siehe Abbildung 27, rote Kurve; die blaue Kurve zeigt die errechnete Kernleistung). Aufgrund der Reaktivitätsrückwirkung steigt bzw. sinkt die Reaktorleistung, sofern kälteres bzw. wärmeres Kühlmittel den Kern erreicht. Da das am Kerneintritt eingespeiste Kühlmittel nach ca. 0,7 Sekunden den aktiven Kernbereich erreicht, ergibt sich in der Analyse eine gleichphasige Oszillation. Anhand der durchgeführten Rechnungen konnte die erfolgreiche Kopplung demonstriert werden. Im nächsten Schritt werden mit der gekoppelten Version Anlagentransienten für ein SWR-Analysemodell durchgeführt und anhand gemessener

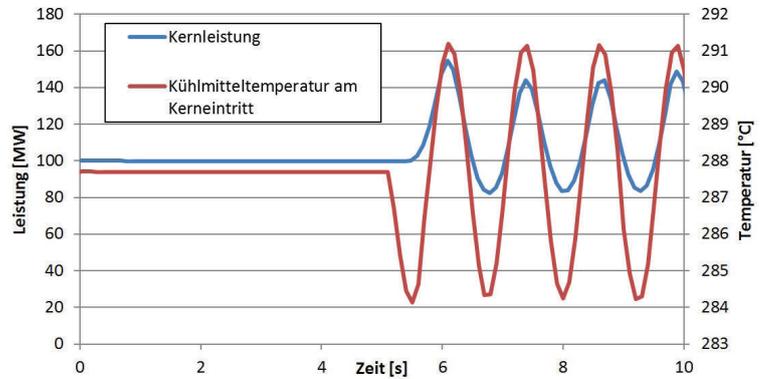


Abbildung 27: Darstellung der bei der Demonstrationsrechnung zur Kopplung von ATHLET und DYN3D ermittelten Kühlmitteltemperatur (Quelle: GRS).

Daten validiert. Das gekoppelte Code-System steht ferner den weiteren NURES SAFE-Partnern über die Salomé Plattform zur Verfügung.

Studie zur Auswirkung von Netz- und Stromausfällen auf Kernkraftwerke

Die Versorgung mit elektrischem Strom ist der Dreh- und Angelpunkt moderner Industriegesellschaften. Ohne Strom funktionieren Verkehr, Kommunikation, Wasserversorgung und Heizungsanlagen nicht mehr. Auch in Bereichen mit Notstromversorgung, wie Krankenhäusern und der Lebensmittelindustrie, kommt es nach kurzer Zeit zu Schwierigkeiten. Dauern die Ausfälle länger an, müssen betroffene Regionen mit Lebensmitteln, Wasser und weiteren Hilfsgütern versorgt werden.

Bedeutung von Netzausfällen auf Kernkraftwerke

Auch für den sicheren Betrieb von Kernkraftwerken hat die Anbindung an ein funktionierendes Stromnetz eine besondere Bedeutung. Kommt es zu einem Netzausfall, müssen sie weiterhin ihren eigenen Strombedarf (den sog. »Eigenbedarf«) decken, denn Brennelemente müssen gekühlt, Überwachungsanlagen und weitere sicherheitsrelevante Systeme mit Energie versorgt werden. Nicht selten führten in der Vergangenheit Netzausfälle in Kernkraftwerken dazu, dass die Anlagen von Notstromaggregaten versorgt werden mussten. Üblicherweise sind deutsche Kernkraftwerke aber im Gegensatz zu vielen ausländischen Kernkraftwerken so ausgelegt, dass sie bei einer Netzstörung einen Lastabwurf auf Eigenbedarf auslösen.



Abbildung 28: Stromtrasse in einem Hochspannungsnetz, das der Übertragung von Strom über größere Distanzen dient; die Spannung beträgt in diesen Netzen in Deutschland in der Regel 110 kV (Foto: © SpbPhoto/Fotolia.com).

Dabei wird die Leistung des Kernkraftwerks so weit herunter gefahren (sogenannter »Lastabwurf«), dass es nur noch die Menge an Strom produziert, die es für seinen Eigenbedarf braucht. Misslingt dies, wird auf die Versorgung durch ein Reservenetz umgeschaltet. Erst wenn diese Möglichkeit ebenfalls nicht zur Verfügung steht, wird die Anlage durch dafür vorgesehene Notstromdiesel versorgt.

Studie zu Auswirkungen von Netzausfällen auf KKW

Im Auftrag des Bundesumweltministeriums hat sich die GRS in einem Forschungsprojekt vertieft mit dem Auftreten und den Ursachen von Netzausfällen und deren Auswirkungen auf Kernkraftwerke befasst. Die Ergebnisse der Studie wurden in dem Bericht »Störungen im Stromnetz und Notstromfälle in Kernkraftwerken in den Jahren 2003 bis 2012« veröffentlicht. Inhaltlich gliederte sich der Bericht entsprechend der thematischen Schwerpunkte des Projekts in zwei Teile.

Auswertung von großflächigen Netzstörungen.

Im ersten Teil des Berichts werden 18 Fälle von großflächigen Störungen und Ausfällen von Stromnetzen im In- und Ausland aus den Jahren 2003 bis 2012 hinsichtlich ihrer Ursachen, ihres Ablaufs und ihrer Auswirkungen auf die Kernkraftwerke in den jeweils betroffenen Gebieten dargestellt. Teilweise waren von diesen Störungen mehrere Millionen Menschen betroffen, wie beispielsweise bei einem durch Netzüberlastung verursachten Stromausfall in Indien 2012. Hier schätzt man die Zahl der betroffenen Menschen auf rund 360 Millionen. Außerdem enthält der Bericht in einem Anhang eine Zusammenstellung von über 200 weiteren Netzstörungen aus dem genannten Zeitraum, in der für jedes Ereignis die Ursache sowie Dauer und die Anzahl der Betroffenen angegeben sind.

Die Ursachen bzw. auslösenden Ereignisse der ausgewerteten Netzstörungen sind vielfältig. Netze wurden beispielsweise infolge von Spannungs- oder Frequenzschwankungen instabil, die durch ein zu großes Ungleichgewicht zwischen Einspeisung und Verbrauch verursacht wurden. Auch technische Defekte wie Kurzschlüsse in Übertragungsleitungen führen immer wieder zu Netzausfällen. Vor allem bei externen Ursachen wie Witterungseinflüssen oder Naturereignissen ist aufgrund der damit verbundenen Schäden an Strommasten und -leitungen mit langfristigeren Ausfällen zu rechnen. Ein Beispiel hierfür ist der über einige Tage andauernde Stromausfall um Münster, der durch Eis und Schnee beschädigte Stromleitungen verursacht wurde (siehe Abbildung 29).

Auswertung von Betriebserfahrungen bei Notstromfällen

Der zweite Teil des Berichts bietet einen Überblick über die nationale und internationale Betriebserfahrung von Kernkraftwerken bei Notstromfällen. In Deutschland ist es in dem betrachteten Zeitraum nicht zu großflächigen Stromausfällen mit Notstromfällen gekommen. Bei einigen Ereignissen, die vorwiegend durch witterungsbedingte Netzstörungen bzw. -ausfälle bedingt waren, kam es in deutschen Kernkraftwerken allerdings zu Leistungsreduktionen bzw. zu einer Störung der Netzanbindung. Daneben führten weitere, zumeist lokale Ursachen mehrfach den teilweisen oder vollständigen Ausfall der Netzanbindung eines Kernkraftwerks sowie in 2004 im Kernkraftwerk Biblis zum Notstromfall. Bei zwei der betrachteten Ereignisse in ausländischen Kernkraftwerken ist es zu einem sogenannten »Station Blackout« gekommen, so beispielsweise in einer südkoreanischen Anlage, bei der ein solcher vollständiger Stromausfall während einer Revision zu einem ca. 20-minütigen Ausfall der Kühlung des Reaktors und des Brennelementlagerbeckens führte.



Abbildung 29: Masten einer Mittelspannungsleitung im Münsterland, die im Winter 2005 durch Schnee- und Eislasten abgeknickt wurden (Quelle: Wikimedia Commons/Stahlkocher).

Weiterleitungsnachrichten und Stellungnahmen

Die Umsetzung der Erkenntnisse aus der Betriebserfahrung ist ein wichtiges Element zum Erhalt und zur Verbesserung des Sicherheitsniveaus der Kernkraftwerken (KKW). Im Auftrag des Bundesumweltministeriums (BMUB) wertet die GRS alle meldepflichtigen Ereignisse aus deutschen KKW sowie sicherheitstechnisch bedeutende Ereignisse in KKW im Ausland kontinuierlich aus. Ergibt die Auswertung eines Ereignisses, dass die daraus gewonnenen Erkenntnisse auf andere Anlagen übertragbar sind, verfasst die GRS dazu eine sogenannte Weiterleitungsnachricht (WLN). Neben den WLN erarbeitet die GRS im Rahmen ihrer Tätigkeit als Sachverständige der durch das BMUB wahrgenommenen Bundesaufsicht gutachterliche Stellungnahmen und generische Berichte. Nachfolgend werden beispielhaft Anlass und Inhalt einiger der insgesamt 24 WLN sowie zweier gutachterlicher Stellungnahmen dargestellt, die die GRS im Berichtszeitraum erarbeitet hat.

Weiterleitungsnachrichten

Fehlöffnen einzelner Magnetvorsteuerventile in der Frischdampf-Sicherheits- und Absperrarmaturen (FSA)-Station

Bei mehreren Ereignissen ist es zu einem Fehlöffnen von Magnetvorsteuerventilen der Frischdampf-Sicherheits- und Absperrarmaturen (FSA)-Station gekommen. Als Ursache wurden Fertigungsfehler in den Betätigungsmagneten der Magnetvorsteuerventile festgestellt. Bei den Ereignissen wurden die Funktionen der betreffenden Hauptventile, Absperrventile vor dem Frischdampf (FD)-Sicherheitsventil und FD-Sicherheitsventile nicht beeinträchtigt. Die besondere sicherheitstechnische Bedeutung dieser Ereignisse liegt darin, dass es bei gleichzeitigem Fehlöffnen von jeweils zwei in Reihe befindlichen Magnetvorsteuerventilen zum gleichzeitigen unbeabsichtigten Öffnen des FD-Sicherheitsventils und Nicht-Schließen des Absperrventils vor dem FD-Sicherheitsventil an mehreren FSA-Stationen kommen kann.

Eine Übertragbarkeit der Ereignisse auf andere Kernkraftwerke ist insofern gegeben, als die beobachteten Schäden der Betätigungsmagnete weitgehend miteinander vergleichbar sind und diese Betätigungsmagnete auch in anderen Kernkraftwerken eingesetzt werden. Die GRS hat Empfehlungen zum Einsatz von Betätigungsmagneten ausgesprochen, die die Wahrscheinlichkeit eines gleichzeitigen Fehlöffnens auf das gebotene Maß minimieren. Außerdem wurde eine Modifikation des Regelwerks des Kerntechnischen Ausschuss empfohlen.

Befunde an bautechnischen Brandschutzmaßnahmen

Im Zuge der Ertüchtigungen des Brandschutzes wurden in einem deutschen KKW die Brandabschottungen bei Rohr- und Kabeldurchführungen überprüft. Dabei wurde festgestellt, dass in einzelnen Durchführungen im Reaktorgebäuderingraum die erforderlichen Füllungen mit Mineralwolle fehlten. Bei fehlerhaft ausgeführten bautechnischen Brandschutzmaßnahmen bleibt bei anlageninternen Bränden unter Umständen der Raumabschluss nicht gewahrt, so dass eine Übertragung von Brandrauch bzw. eine Brandausbreitung in Nachbarräume nicht mehr ausgeschlossen werden kann. Brandschutztechnische Schutzziele, wie die Vermeidung redundanzübergreifender Brände, der Einschluss radioaktiver Stoffe sowie die Verfügbarkeit von Rettungswegen im Brandfall, sind dadurch potenziell gefährdet. Hierdurch könnte es zu einem redundanzübergreifenden Ausfall von Einrichtungen aller Sicherheitsebenen kommen.

Die GRS empfahl in ihrer WLN unter anderem Brandabschottungen bei wiederkehrenden Prüfungen nicht nur visuell von außen, sondern stichprobenartig auch in geöffnetem Zustand zu überprüfen. Des Weiteren wurde empfohlen zu prüfen, ob aus der Vergangenheit Einzelbefunde an raumabschließenden bzw. redundanztrennenden Komponenten des bautechnischen Brandschutzes vorliegen, die ein Potenzial für systematische Mängel besitzen.

Ausfall des 380 kV Hauptnetzanschlusses

Bei der Auswertung der Betriebserfahrung wurde im Berichtszeitraum ein besonderes Augenmerk auf solche Ereignisse gelegt, die durch die langfristige Nachbetriebsphase bedingt und im Normalbetrieb bislang nicht aufgetreten sind.

Zu einem derartigen Ereignis ist es in einem deutschen KKW durch den Ausfall des 380 kV Hauptnetzanschlusses in Folge eines Fehlers außerhalb des Anlagengeländes gekommen. Die auslegungsgemäße Umschaltung auf das Reservenetz schlug in zwei der vier Redundanzen fehl, so dass die Versorgung der Verbraucher des Sicherheitssystems in diesen beiden Redundanzen durch die Notstromdiesel übernommen werden musste. Die Umschaltung vom Haupt- auf das Reservenetz ist abhängig von der Einhaltung vordefinierter Warte- und Freigabezeiten. Ein Kriterium, welches für den Start dieser Warte- bzw. Freigabezeiten relevant ist, stellt die nach dem Ausfall des Hauptnetzes noch vorhandene Restspannung auf den Eigenbedarfsschienen der Anlage dar. Diese wiederum ist abhängig vom Belastungszustand der Schienen. Die sich zum Zeitpunkt eines Netzausfalls in Betrieb befindlichen Elektromotoren stützen die Spannung, so dass diese dann verzögert abfällt. Aufgrund des langandauernden Anlagenstillstandes des Kernkraftwerks und der damit verbundenen geringen Nachzerfallsleistung waren nur sehr wenige elektrisch angetriebene Pumpen, Lüfter etc. in Betrieb, so dass die Spannung auf den Eigenbedarfsschienen nach Ausfall des Hauptnetzes sehr schnell abfiel. Die vordefinierten Warte- und Freigabezeiten sahen einen solchen schnellen Abfall der Spannung nicht vor, weshalb die Umschaltung fehlschlug.

Die GRS empfiehlt in ihrer WLN, zukünftig veränderte Zustände im elektrischen Eigenbedarf aufgrund ungewöhnlicher Anlagenzustände (z. B. langfristiger Stillstand) umfassend zu berücksichtigen.

Unzureichend detektierte Ausfälle einzelner Phasen der Fremd- bzw. Reservenetzanbindung

Ein weiterer Schwerpunkt der Auswertung der Betriebserfahrung betraf Ereignisse, bei denen in mehreren aus-

ländischen Anlagen unzureichend detektierte Ausfälle einzelner Phasen der Fremd- bzw. Reservenetzanbindung aufgetreten sind.

Aufgrund seiner besonderen sicherheitstechnischen Bedeutung ist ein Ereignis in einer US-amerikanischen Anlage besonders hervorzuheben, bei dem es zum Ausfall einer Phase der Dreiphasen-Drehstromversorgung kam (sogenannter asymmetrischer Ausfall), die auch die Eigenbedarfsanlagen versorgt. Hierbei zeigte sich, dass durch einen derartigen Ausfall im elektrischen Eigenbedarf der Anlagen ein elektrischer Betriebszustand eintreten kann, in dem der Betrieb bestimmter sicherheitstechnisch wichtiger Verbraucher nicht möglich ist. Dieser fehlerhafte Betriebszustand wurde jedoch vom Reaktorschutz nicht erkannt. Folglich fand die erforderliche Anregung des Notstromfalls nicht statt. Eine Beherrschung des Anlagenzustandes mit automatischen Maßnahmen war nicht möglich, so dass zur Stabilisierung des Anlagenzustandes Handmaßnahmen zwingend erforderlich waren.

Zu einem gleichartigen Ereignis ist es auch in einem schwedischen KKW gekommen. Dort führte das ebenfalls eingetretene sogenannte asymmetrische Spannungsverhältnis dazu, dass zahlreiche kleinere elektrische Verbraucher durch Überhitzung zerstört wurden.

In welchem Ausmaß deutsche Anlagen von einem solchen Ereignis betroffen sein könnten und welche Maßnahmen geeignet sind, derartige Ausfälle zu beherrschen, ist Gegenstand weiterer Erörterungen im Ausschuss »Elektrische Einrichtungen« der Reaktor-Sicherheitskommission, in die die GRS eingebunden ist.

Schäden an der Hauptkühlmittelpumpe sowie an einigen Armaturen durch Dekontamination

Eine weitere WLN betrifft ein Ereignis in einer im Nachbetrieb befindlichen deutschen Anlage. Dort wurde der Primärkreis mit einem neuen Verfahren dekontaminiert, um die Strahlendosis zu senken und somit den späteren Rückbau zu erleichtern. Dabei traten Schäden

an der Hauptkühlmittelpumpe sowie an einigen Armaturen auf. Die verwendeten Dekontaminationschemikalien griffen Werkstoffe an, die in vorauslaufenden Tests nicht berücksichtigt worden waren. Zudem stellte die GRS bei der Auswertung des Ereignisses fest, dass die Vorkehrungen gegen eine mögliche Einspeisung von Dekontaminationschemikalien in das Brennelement-Lagerbecken nicht ausreichend waren.

Die aus dem Ereignis abgeleiteten Empfehlungen zielen auf die Sicherstellung der Qualität und Funktionsfähigkeit sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen durch Qualifikation der Dekontaminationsverfahren und Durchführung geeigneter Prüfungen nach der Dekontamination ab und betreffen sowohl Anlagen im Nach- als auch solche im Leistungsbetrieb.

Stellungnahmen

Qualitätsmängel an Bauteilen

In mehreren ausländischen KKW wurden in den vergangenen Jahren Bauteile eingesetzt, die von minderer Qualität waren, wobei diese Qualitätsmängel in einer Reihe von Fällen den Lieferanten bekannt waren. Neben elektronischen Bauteilen wie Transistoren, Kondensatoren und sogenannten Integrierten Schaltungen wurden auch gefälschte mechanische Bauteile einschließlich ganzer Ventile vorgefunden. Derartige Bauteile werden als »Counterfeit, Fraudulent and Suspect Items« (übersetzt etwa »gefälschte, betrügerische und verdächtige Bauteile«) bezeichnet.

Bisher wurden von den USA und den ostasiatischen Ländern (China, Korea, Japan) zum Teil massive Fälschungen gemeldet, die jedoch zumeist Bauteile in nicht-sicherheitstechnisch wichtigen Bereichen und Systemen der Anlagen betrafen. Aus deutschen Anlagen und An-

lagen in EU-Ländern sind bisher keine entsprechenden Ereignisse bekannt. Die GRS verfolgt diese Thematik in mehreren internationalen Gremien und berichtet dem BMUB über die aktuellen Entwicklungen und potenzielle Gegenmaßnahmen.

Leistungserhöhung Gundremmingen

Zur Vorbereitung einer bundesaufsichtlichen Stellungnahme zur beantragten Leistungserhöhung für das KKW Gundremmingen hat sich die GRS im Auftrag des BMUB mit der Bewertung der entsprechenden Stellungnahmen des Gutachters der zuständigen Landesbehörde beschäftigt. Die Schwerpunkte dieses Auftrags umfassten die Prüfung der Beantwortung von Fragen der Reaktor-Sicherheitskommission und der Umsetzung der Empfehlungen und Hinweise der GRS, die bereits früher im Zusammenhang mit der Leistungserhöhung gestellt bzw. ausgesprochen wurden. Ferner sollte die GRS eine Bewertung vornehmen, ob die Auswirkungen der Leistungserhöhung auf die Anlage nach dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik ausreichend untersucht wurden und ob sich bei der Anwendung der inzwischen verabschiedeten »Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke« von November 2012 sicherheitstechnische Nachweisdefizite erkennen lassen. Von der GRS wurden hierzu ingenieurtechnische Abschätzungen und Plausibilitätsbetrachtungen vorgenommen, um die noch offenen Fragen bezüglich der durchgeführten Untersuchungen zu klären. Darüber hinaus hat die GRS bei der Prüfung nach dem Stand von Wissenschaft und Technik einige Punkte von grundsätzlicher Bedeutung identifiziert, die nicht unmittelbar mit der Leistungserhöhung im Zusammenhang stehen. Mit der Rücknahme des Antrags auf Genehmigung der Leistungserhöhung durch den Betreiber im Dezember 2013 wurde die Beauftragung gegenstandslos.

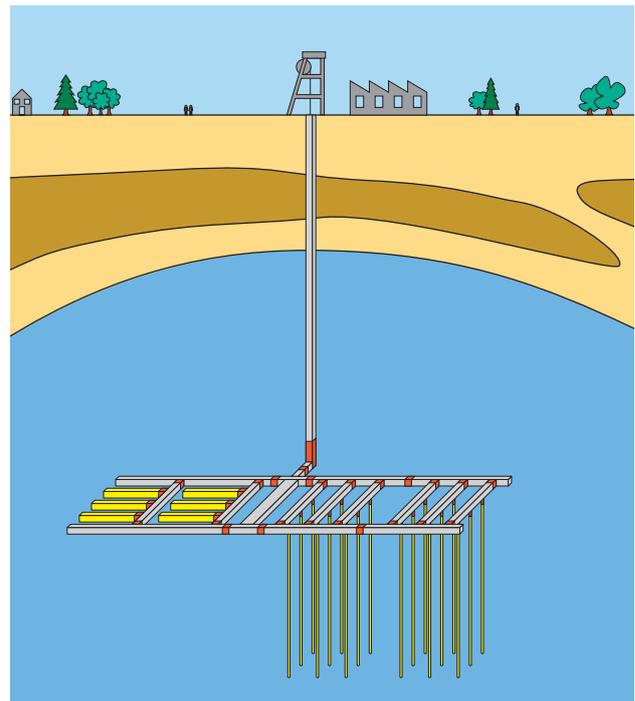
Entsorgung

➔ Im Bereich der Entsorgung radioaktiver Abfälle decken die Kompetenzen der GRS den gesamten Entsorgungsweg ab. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt auf der Endlagerung.

In ihrem Endlagerforschungszentrum führt die GRS umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durch. Dies beginnt bei der Erforschung der für die Sicherheit der Endlagerung grundlegenden physikalischen- und chemischen Eigenschaften der potenziellen Wirtsgesteine Salz, Ton und Granit. Diese Forschungsarbeiten werden sowohl im Geowissenschaftlichen Labor am Standort Braunschweig durchgeführt, als auch – im Rahmen langjähriger Kooperationen – in in situ-Experimenten in Untertagelaboratorien in Frankreich, Schweden und der Schweiz. Als führende deutsche Institution auf diesem Gebiet entwickelt die GRS Software und Datenbanken, mit denen Endlagerprozesse über lange Zeiträume berechnet werden können.

Einen weiteren Schwerpunkt bilden Arbeiten zum Langzeitsicherheitsnachweis. Die GRS entwickelt Computerprogramme und Methoden zur Erstellung bzw. Bewertung solcher Nachweise und beschäftigt sich auch mit Fragestellungen im Zusammenhang mit der Standortsuche und dem Vergleich von Endlagerkonzepten für Standorte in unterschiedlichen Wirtsgesteinen.

Aufgrund ihrer Erfahrung und Sachkenntnis wird die GRS von Behörden des Bundes und der Länder als Sachverständige beauftragt, wenn im Rahmen der Aufsicht oder der Genehmigung technisch-wissenschaftliche Fragestellungen gutachterlich zu bewerten sind. Darüber hinaus unterstützt die GRS das Bundesumweltministerium bei der Erarbeitung regulatorischer Grundlagen auf nationaler Ebene und in Fachgremien internationaler Organisationen wie der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO).



Quelle: GRS

Projekt AnSichT: Arbeiten zum Sicherheitsnachweiskonzept für in Endlager im Tonstein

Seit 2011 beschäftigt sich die GRS in einem Vorhaben des Bundeswirtschaftsministeriums mit der Entwicklung methodischer Grundlagen für ein generisches Sicherheits- und Nachweiskonzept für ein Endlager im Tonstein (AnSichT). Partner der GRS im Projekt AnSichT sind die DBE Technology GmbH und die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Bei der Entwicklung der Methoden sollen gesetzliche und geologische Randbedingungen, ein Endlager- und Verschlusskonzept sowie die mögliche zukünftige Entwicklung des Endlagersystems berücksichtigt werden. Dabei wird der Kenntnisstand, der im Zuge vorangegangener Forschungsvorhaben zur möglichen Endlagerung in Tonsteinformationen in Deutschland erreicht wurde, zugrunde gelegt. Ob die Methodik sich unter realen Bedingungen anwenden lässt, wird für generische Endlagerstandorte in den Tonformationen von Norddeutschland (Unterkreidetone) und Süddeutschland (Opalinuston) getestet. Generisch bedeutet in diesem Fall, dass nicht ein konkreter Standort untersucht wird, sondern die Formation an sich.

Vorgehen

Wichtige Voraussetzung für einen Sicherheitsnachweis ist die Zusammenstellung aller zukünftig relevanten Eigenschaften, Ereignisse und Prozesse eines Endlagers, den sogenannten Features, Events and Processes (FEP). Ein Teilziel des Projekts ist es, die Prozesse zu selektieren bzw. zu ergänzen, die für eine Endlagerung in deutschen Tonsteinformationen relevant sind. Zu den FEP zählen



Abbildung 4: Opalinuston im Albvorland (Foto: ©wiki-mediacommons/BerndH).

die Beschreibung der geologischen Gesamtsituation, die geowissenschaftliche Langzeitprognose, das Abfallmen- gengerüst und das Endlagerkonzept. Aber auch die zu- künftig zu erwartenden sicherheitsrelevanten Ereignisse und Prozesse in einem Endlagersystem müssen einge- schätzt werden. Die Zusammenstellung der FEP ist die entscheidende Grundlage für die systematische Entwick- lung von Szenarien für ein Endlager in Tongestein. Ein weiterer Bestandteil des Projekts ist es herauszuarbeiten, wo die größten Unsicherheiten im Rahmen einer Nach- weisführung zu erwarten sind, um damit die Möglichkeit zu schaffen, Maßnahmen zu entwickeln, diese Unsicher- heiten abzubauen.

Schwerpunkt der 2013 laufenden Arbeiten war die Zu- sammenstellung der FEP für die Referenzregion Nord. Die Arbeiten im Vorhaben AnSichT laufen bis 2016.

Projekt ZIESEL: Forschung und Entwicklung zum Zweiphasenfluss in einem Endlager in Salzgestein

Für die Langzeitsicherheit eines Endlagers ist entscheidend, ob radioaktive Stoffe an die Umwelt gelangen können. Diese Stoffe können in einem Endlagersystem durch Flüssigkeiten und Gase transportiert werden. Als Bestandteil eines Langzeitsicherheitsnachweises müssen diese Strömungs-, Mischungs- und Transportvorgänge untersucht werden. Dazu werden sogenannte Zweiphasenfluss-Modelle herangezogen. Als Zweiphasenfluss wird die gleichzeitige Bewegung zweier nicht-mischbarer Fluide bezeichnet, zum Beispiel Wasser und Gas.

Zweiphasenflussmodelle wurden bislang in erster Linie zu Forschungszwecken eingesetzt. Für zukünftige Analysen, zum Beispiel im Rahmen eines (vergleichenden) Standortauswahlprozesses, wird es allerdings notwendig sein, diese Methoden auch am Beispiel der Gegebenheiten eines realen Standorts zu testen.

Zielsetzung von ZIESEL

In ihrem 2013 gestarteten Projekt ZIESEL (Forschung und Entwicklung zum Zweiphasenfluss in einem salinaren Endlager am Beispiel des ERAM) untersucht die GRS die Bewegung von Wasser und Gas und der darin vorhandenen radioaktiven Stoffe in Endlagern mithilfe des Zweiphasenflusses und entwickelt die dazu notwendigen Berechnungswerkzeuge und -methoden weiter. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt des Projekts ist, diese Methoden mittels konkreter Daten des Endlagers für radioaktive Abfälle in Morsleben (ERAM) zu testen.

Nach Abschluss des Vorhabens soll eine robuste numerische Systemanalyse des zweiphasigen Radionuklidtransports in einem komplexen Endlagersystem vorliegen.

Die Arbeiten werden vom Bundesumweltministerium gefördert.

Vorgehensweise

Um herauszufinden, unter welchen Bedingungen Fließwege von Gasen und Flüssigkeiten durch eine Barriere hindurch oder um eine Barriere herum entstehen, werden zunächst Analysen einzelner Teilsysteme durchgeführt. Zur Berechnung dieser komplexen Prozesse setzt die GRS das Programm TOUGH2 (Transport of Unsaturated Groundwater and Heat) ein. Mit ihm lässt sich der Transport von Radionukliden in Lösungen und Gasen durch ein Gestein modellieren. Ein Teilsystem kann zum Beispiel eine technische Barriere sein, die von einer Auflockerungszone umgeben ist oder von korrosiver Lösung langsam aufgelöst wird.

Parallel zu den Analysen einzelner Prozesse und Teilsysteme werden Untersuchungen am dreidimensionalen Grubenbau durchgeführt. Die Komplexität des Modellgebietes (siehe Abbildung 5) soll im Laufe des Vorhabens

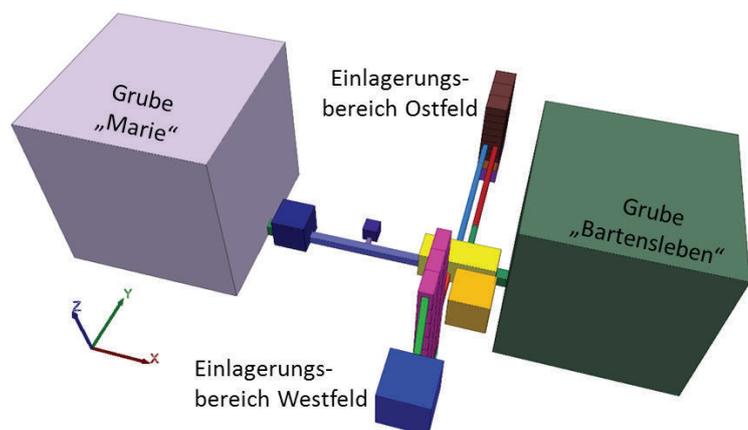


Abbildung 5: Vereinfachter Modellaufbau des Grubengebäudes für erste Systemanalysen (Quelle: GRS).

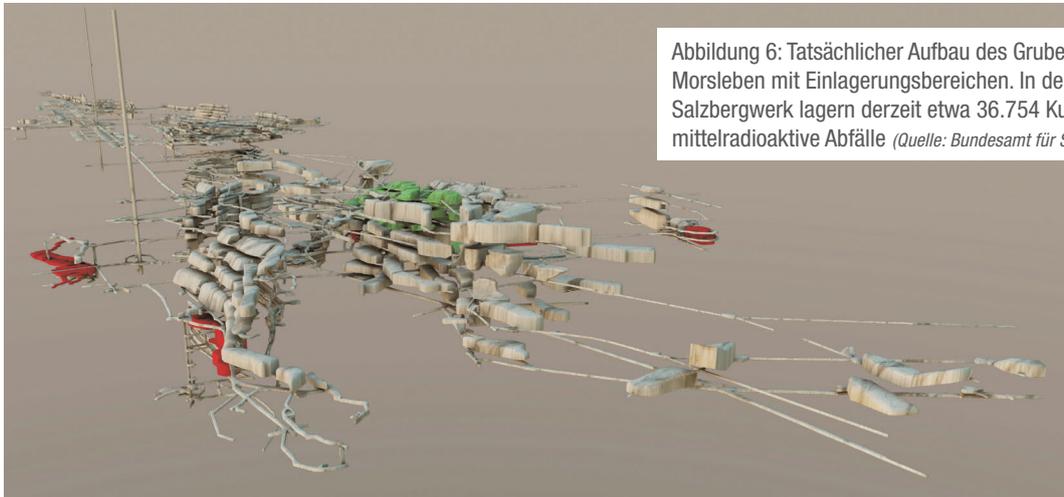


Abbildung 6: Tatsächlicher Aufbau des Grubengebäudes des Endlagers Morsleben mit Einlagerungsbereichen. In dem ehemaligen Kali- und Salzbergwerk lagern derzeit etwa 36.754 Kubikmeter schwach- und mittelradioaktive Abfälle (Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz).

stufenweise erhöht werden, um den Gegebenheiten der realen Grubengeometrie (siehe Abbildung 6) näher zu kommen. Um bestehenden Ungewissheiten hinsichtlich Zweiphasenflussparametern, wie z. B. am Ort verbleibenden Lösungs- und Gasgehalten oder Lösungs- und

Gasdurchlässigkeiten von Salzbeton, zu begegnen, sollen mit ZIESEL umfangreiche Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen mit einem Zweiphasenfluss-Modell für ein komplexes Endlagersystem durchgeführt werden.

Projekt FORGE: Untersuchungen zum Gastransport in Tonstein

Bei der Einlagerung von radioaktiven Abfällen in tiefe geologischen Endlagern entstehen Gase – unter anderem bei der Korrosion von Abfallbehältern. In einem Tonstein-Standort können sich diese Gase im Porenwasser lösen und sich darin diffusiv bewegen. Entsteht jedoch sehr viel Gas, bildet sich im Endlager eine Gasphase und der Gasdruck steigt. Dies kann den Transport von Radionukliden aus dem Endlager beeinflussen.

Langzeitsicherheitsanalysen versuchen daher unter anderem, die Entwicklung der Gasdrücke und den Gastransport im und aus dem Endlager nachzuvollziehen. Die GRS hat in einem von fünf Arbeitspaketen im Rahmen des EU-Projekts FORGE (Fate of Repository Gases) das Verhalten von Gasen in Tonstein untersucht.

Aufgaben der GRS im Projekt FORGE

Im Schweizer Felslabor Mont Terri hat die Nagra langjährige Versuche zum Gastransport im Tongestein durchgeführt. Forscher der GRS haben im Projekt FORGE einige dieser Experimente ausgewertet und interpretiert. Um die ablaufenden Prozesse besser verstehen zu können, wurden verschiedene Gastransportmodelle entwickelt und mit den experimentellen Daten verglichen.

Ergebnisse

Anhand dieser Modelle konnte nachverfolgt werden, wie das Gas plötzlich durch den Tonstein zu fließen beginnt, sobald der Gasdruck den Gebirgsdruck überwindet. Daraus ließ sich schlussfolgern, dass die Gase sich

durch den Tonstein bewegen können, indem sie mikroskopische Risse öffnen. Dabei gelangte allerdings kein Wasser durch diese Risse – ein Phänomen, das sich nach Ansicht der Forscher nur durch sehr kleine Rissöffnungen plausibel erklären lässt.

Konsequenzen für die Endlagerung in Tonstein

Die Untersuchungen der GRS zeigen, dass die rissgesteuerte Gasströmung im Gebirge ein komplexer Vorgang ist, der sich noch nicht in allen Aspekten prognostizieren lässt. Eine Möglichkeit für die Auslegung eines Endlagers in Tongestein könnte es deshalb sein, die Gasdrücke möglichst niedrig zu halten, um Risse im Wirtsgestein erst gar nicht entstehen zu lassen. Das könnte beispielsweise er-

reicht werden, wenn das Gas kontrolliert entlang der technischen Bauwerke entweichen oder in dafür vorgesehenen Porenräumen gespeichert werden könnte. Eine weitere Möglichkeit bestünde darin, die Gasbildung insgesamt zu verlangsamen, zum Beispiel durch die Verwendung geeigneter Abfallbehälter oder Konditionierungsarten.

Untersuchungsbericht

Die Arbeiten der GRS am Projekt FORGE endeten 2013. Detaillierte Untersuchungsergebnisse sind im dazu veröffentlichten Abschlussbericht GRS-306 »Modelling Gas and Water Flow through Dilating Pathways in Opalinus Clay - The HG-C and HG-D Experiments « nachzulesen.



Abbildung 7: Einbau von Messinstrumenten in ein Bohrloch im Untertagelabor Mont Terri (Foto: Mont Terri Projekt, swisstopo).

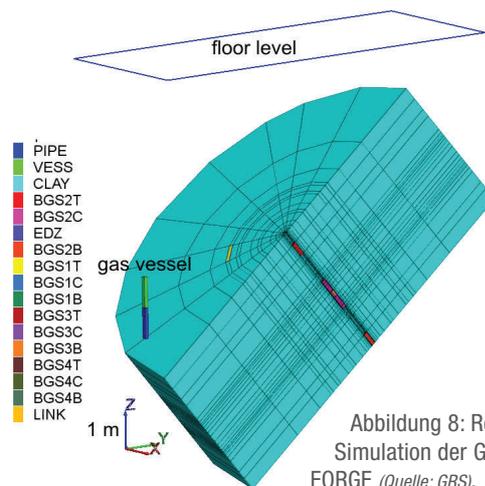


Abbildung 8: Rechenmodell zur Simulation der Gasströmung in FORGE (Quelle: GRS).

Projekt EMIL: Weiterentwicklung der Werkzeuge für den Langzeitsicherheitsnachweis eines Endlagers

Als Konzept für die Entsorgung radioaktiver Abfälle wird in Deutschland die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen verfolgt. Dabei kommt dem sogenannten Langzeitsicherheitsnachweis eine besondere Bedeutung zu. In ihm wird untersucht, wie sich ein Endlager zukünftig – das heißt mehrere hunderttausend Jahre in die Zukunft gerichtet – verhält. Untersuchungen zur Langzeitsicherheit werden nicht nur im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens als Grundlage für einen entsprechenden Nachweis erforderlich, sondern schon bei der Auswahl eines Standorts in einem Standortauswahlverfahren.

Arbeitsschwerpunkte von EMIL

Im Projekt EMIL (»Entwicklung von Methoden und Instrumenten für den Langzeitsicherheitsnachweis«) erforscht und entwickelt die GRS Werkzeuge zur Durchführung und zur Bewertung von Langzeitsicherheitsnachweisen. Das Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesumweltministeriums gefördert und umfasst drei Arbeitsschwerpunkte:

Geochemie und Transportprozesse

Werden in einem Endlager Stoffe – zum Beispiel Radionuklide – freigesetzt, können diese über unterschiedlichste Prozesse im Untergrund transportiert aber auch zurückgehalten werden, da sie in Wechselwirkung mit den umliegenden Gesteinen und Materialien sowie mit den im Grundwasser enthaltenen Stoffen treten. Eine Folge dieser Wechselwirkungen ist beispielsweise die Ausfällung. Dabei werden Radionuklide durch eine chemische Reaktion aus dem Wasser oder Gestein herausgelöst bzw. ausgeschieden und fallen als Niederschlag in Form von Kristallen oder Flocken aus. Im Arbeitspaket »Geochemie und Transportprozesse« sollen die Werkzeuge zur Untersuchung dieser Wechselwirkungen nun weiterentwickelt werden. Dazu werden Simulationscodes eingesetzt, mit deren Hilfe sich komplexe Abläufe im Untergrund model-

lieren, das heißt nachbilden, lassen. Die GRS verfügt unter anderem mit MARNIE, PhreeqC, ChemApp bereits über Simulationscodes für solche Berechnungen. Die Codes sollen im Projekt EMIL zur Modellierung miteinander gekoppelt werden. Auf diese Weise sollen die Wechselwirkungen von Radionukliden beim Transport im geologischen Untergrund in einem Langzeitsicherheitsnachweis noch besser dargestellt werden können.

Dichteschichtung und Transport

Um den Transport geht es auch im zweiten Arbeitsschwerpunkt von EMIL. Allerdings stehen hier die Transportprozesse des Grundwassers im Mittelpunkt. Im geologischen Untergrund liegt eine sogenannte Dichteschichtung vor, da in der Regel mit zunehmender Tiefe der Salzgehalt und damit die Dichte der Grundwässer zunehmen. Diese Dichteschichtung hat Auswirkungen darauf, wie schnell die Grundwässer und damit die Radionuklide im Untergrund transportiert werden: Die Transportgeschwindigkeit von Stoffen nimmt mit steigender Dichte ab. Vereinfacht ausgedrückt lässt sich sagen, je tiefer der Untergrund, desto höher die Dichte im dort vorhandenen Grundwasser und umso langsamer der Grundwasserstrom und damit der Stofftransport. Im Rahmen von EMIL untersucht die GRS nun vertieft das Verhalten und die Wechselwirkungen beim Radionuklidtransport in Süß- und Salzwassersystemen unter Berücksichtigung der Dichteschichtung. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Untersuchungen werden für diese Prozesse neue Modelle entwickelt, vorhandene überprüft und Empfehlungen zu deren Weiterentwicklung gegeben.

Szenarientwicklung

Bestandteil eines Langzeitsicherheitsnachweises – und damit eine wesentliche Grundlage der Beurteilung der Sicherheit von Endlagern – ist die Ermittlung von Szenarien, die möglicherweise zu einer Radionuklidfreisetzung führen können. Ein Szenario beschreibt dabei eine

mögliche Entwicklung des Endlagersystems und seiner Sicherheitsfunktionen. Bei der Entwicklung von Szenarien werden im Wesentlichen zwei Ansätze verfolgt. Beim Ansatz »top-down« werden Szenarien vorgegeben, von denen ausgehend, mögliche Prozesse im Endlager untersucht werden. Beim Ansatz »bottom-up« werden umgekehrt, ausgehend von Prozessen, mögliche Szenarien ermittelt. Beide Ansätze wurden von der GRS bereits in Vorgängervorhaben (VSG, VerSi und ISIBEL) bei der Ableitung bzw. Berücksichtigung von Szenarien einbezogen. In Deutschland

wird seit längerem das Ziel verfolgt, die Szenarien auf der Grundlage eines breiten fachlichen Konsenses zu entwickeln. Dazu wurde der Arbeitskreis Szenarientwicklung gegründet, der sich aus Vertretern verschiedener Fachinstitutionen zusammensetzt. Im Rahmen des Vorhabens EMIL sollen vor allem methodische Fragestellungen in diesem Arbeitskreis diskutiert und weiterentwickelt werden.

Das Vorhaben EMIL läuft bis September 2016. Die Ergebnisse werden als Bericht veröffentlicht.

Info

Hintergrund: Was wird in einem Langzeitsicherheitsnachweis untersucht?

In Rahmen eines Langzeitsicherheitsnachweises wird die Sicherheitsstrategie erläutert, die auf einen konkreten Endlagerstandort angewendet wird. Dazu zählen unter anderem die Strategien der Standortuntersuchung, der Endlagerplanung, -auslegung und -optimierung, das System der Sicherheitsfunktionen und die Strategien des Sicherheitsmanagements und die eigentliche Nachweisführung. Ein zentrales Element der Nachweisführung ist die standortspezifische Analyse der Funktion des Endlagersystems im Hinblick auf die radiologischen Konsequenzen. Mit dieser Analyse und den geeigneten Werkzeugen wird gezeigt, ob die radiologischen Schutzziele eingehalten werden können. Zu den Schutzziele zählen in erster Linie der Schutz des Menschen und der Biosphäre vor den schädlichen Einwirkungen radioaktiver Strahlung.

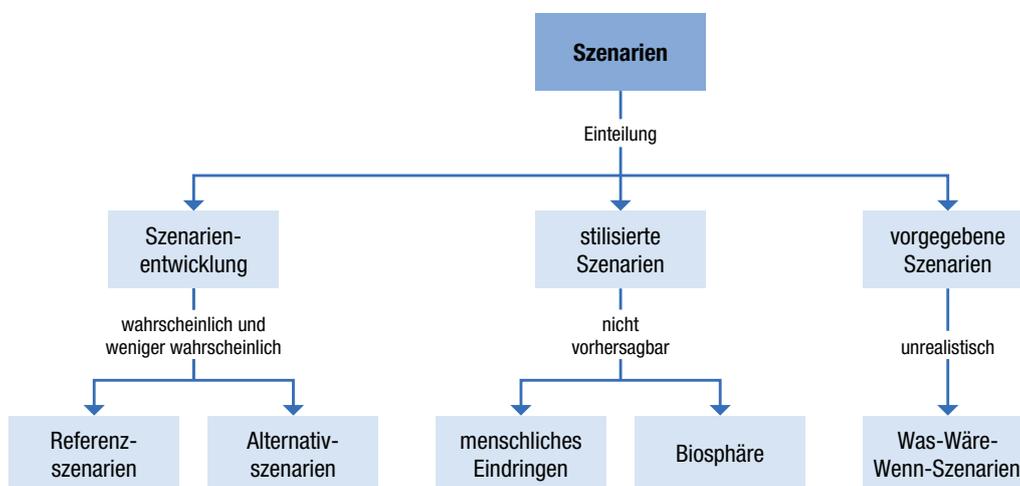


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Einteilung von Szenarien (Quelle: GRS).

Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG)

Gefördert mit Mitteln des Bundesumweltministeriums (BMUB) hat sich die GRS im Forschungsvorhaben Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) zusammen mit acht Projektpartnern mit grundsätzlichen methodischen Fragestellungen zum Sicherheitsnachweis für Endlager in Salzstrukturen am Beispiel Gorleben befasst. In 2013 konnte das Projekt nach mehr als zwei Jahren Laufzeit abgeschlossen werden.

Inhalte und Zielsetzung des Vorhabens

Im Rahmen des Vorhabens VSG wurde der Forschungs- und Entwicklungsstand zur Endlagerung im Salzgestein systematisch analysiert. Zudem wurde untersucht, inwieweit die in der VSG eingesetzten analytischen Methoden bei Sicherheitsuntersuchungen von Standorten im Rahmen eines zukünftigen Standortauswahlverfahrens verwendet werden können.

Neue Rahmenbedingungen

Im Zuge sich ändernder politischer Rahmenbedingungen wurde die Zielsetzung der VSG während der Projektlaufzeit angepasst. Weiterhin Bestandteil des Projektes sollte die systematische Zusammenfassung des bisherigen Kenntnisstands zu Gorleben und die Identifizierung des zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsbedarfs sein. Die Änderungen bezogen sich auf

- ⚡ die Überprüfung, 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 BMUB zu erfüllen,
- ⚡ die Ergänzung der bisherigen Projektziele um eine Untersuchung der Frage, welche methodischen Ansätze der VSG in einem zukünftigen Standortauswahlverfahren sinnvoll zum Vergleich von Endlagerstandorten eingesetzt werden können und
- ⚡ die über die ursprünglichen Zielsetzungen hinaus gehende Untersuchung, welche der in der VSG

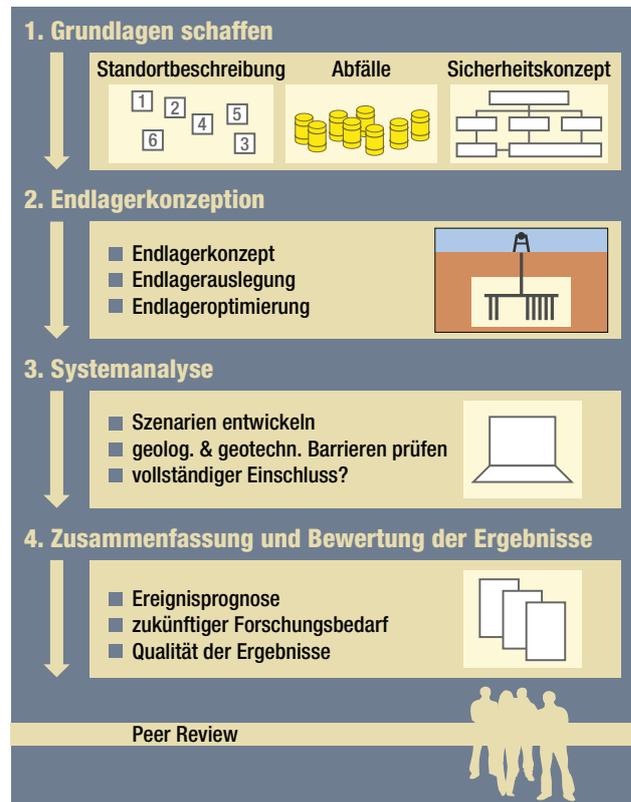


Abbildung 1: Skizze des VSG Projektablaufs (Quelle: GRS).

entwickelten technischen Konzepte zur Einlagerung der radioaktiven Abfälle und zum Verschluss des Endlagerbergwerks übertragbar auf Endlagersysteme an Standorten mit anderen geologischen Gegebenheiten sind.

Vorgehen und Ergebnisse

Das Sicherheits- und Nachweiskonzept des Vorhabens wurde so angelegt, dass alle sicherheitstechnischen Vorgaben der Sicherheitsanforderungen des BMUB, soweit diese die Langzeitsicherheit betreffen, aufgegriffen wurden. Dabei handelt es sich um Anforderungen an die

- ⚡ Endlagerauslegung,
- ⚡ Nachweisführung und
- ⚡ Qualität, Dauerhaftigkeit und Robustheit des Einschlussvermögens des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs.

Ein Großteil der im Vorhaben VSG erzielten Ergebnisse steht unter dem Vorbehalt, dass die Ergebnisse zukünftiger Erkundungs- bzw. Forschungsarbeiten die in der VSG verwendeten grundlegenden Annahmen bestätigen. Mit dieser Einschränkung können folgende Kernaussagen als Ergebnisse der VSG abgeleitet werden:

Bezogen auf die Endlagerung von wärmeentwickelnden radioaktiven Abfällen können sowohl die projektierten Endlagersysteme als auch die hiermit verbundenen Sicherheitsaussagen als robust angesehen werden. Für das Freisetzungverhalten gasförmiger Radionuklide gilt dies vorbehaltlich der Modell-, Prozess- und Datenungleichheiten nur, wenn Behälter unterstellt werden, die über etwa 500 Jahre gasdicht sind.

Geht man von der zusätzlichen Einlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung mit Gasentwicklung und sehr komplexer Zusammensetzung aus, ergibt die Systemanalyse einen signifikanten Zuwachs der Komplexität von im Endlager-system ablaufenden Prozessen und hiermit verbundener Ungewissheiten.

Die Robustheit eines Endlagersystems ließe sich dadurch steigern, dass die Restfeuchtegehalte in den Be-

hältern für radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung minimiert werden. Zudem würde eine stärkere räumliche Separierung der Einlagerungsbereiche wärmeentwickelnder und vernachlässigbar wärmeentwickelnder Abfälle dazu beitragen, die Robustheit zu steigern.

Aus den Ergebnissen der VSG lässt sich ableiten, dass die im Vorhaben entwickelten Endlagerkonzepte im Verbund mit der geologischen Gesamtsituation am Standort Gorleben oder eines ähnlich gearteten Salzstandortes geeignet sind, die langzeitsicherheitsbezogenen Sicherheitsanforderungen des BMUB an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle zu erfüllen. Für die Freisetzung gasförmiger Radionuklide gilt dies vorbehaltlich der Modell-, Prozess- und Datenungleichheiten mit der bereits beschriebenen Einschränkung der Gasdichtheit der Behälter.

Die entwickelten Endlagerkonzepte werden einschließlich der Rückholungskonzepte als realisierbar angesehen. Einige der in den Sicherheitsanforderungen des BMUB geforderten Nachweise können jedoch erst nach einer weiteren Konkretisierung der technischen Planungen geführt werden.

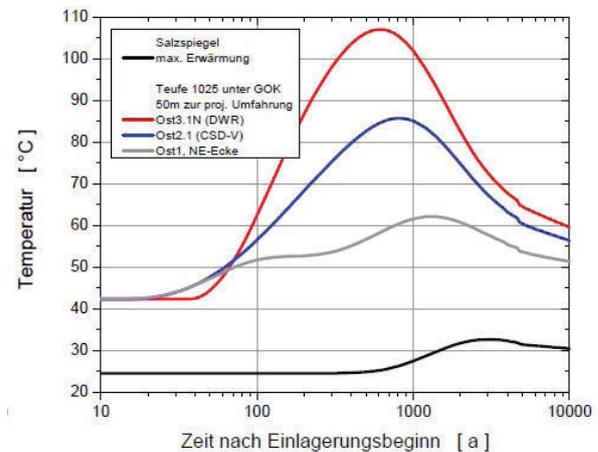
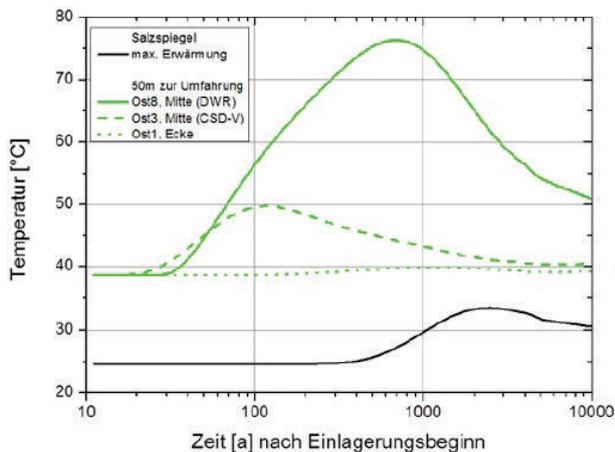


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Temperatur im Abstand von 50 m zur Umfahrung und am Salzspiegel für das Streckenlagerungskonzept (links) und das Bohrlochlagerungskonzept (rechts) (Quelle: GRS).

Die umfassenden Ergebnisse der VSG sind in 23 Fachberichten und einem abschließenden Synthesebericht dokumentiert und veröffentlicht.

Weiterer Forschungsbedarf

Im Zuge der Forschungsarbeiten zur VSG wurde der nach derzeitigem Stand ausstehende Forschungs- und Entwicklungsbedarf systematisch identifiziert. Bedarf sehen die Forscher insbesondere was den Abbau von Ungewissheiten und die Bestätigung bestimmter Annahmen und Prämissen angeht. Die wesentlichen Annahmen und Prämissen im Vorhaben VSG resultieren aus der Tatsache, dass der Salzstock Gorleben untertägig erst teilerkundet ist. Weitere offene F&E-Felder bestehen unter anderem hinsichtlich der Detailkenntnisse zu ablaufenden Prozessen und hinsichtlich der Annahmen zur Machbarkeit technischer Maßnahmen.

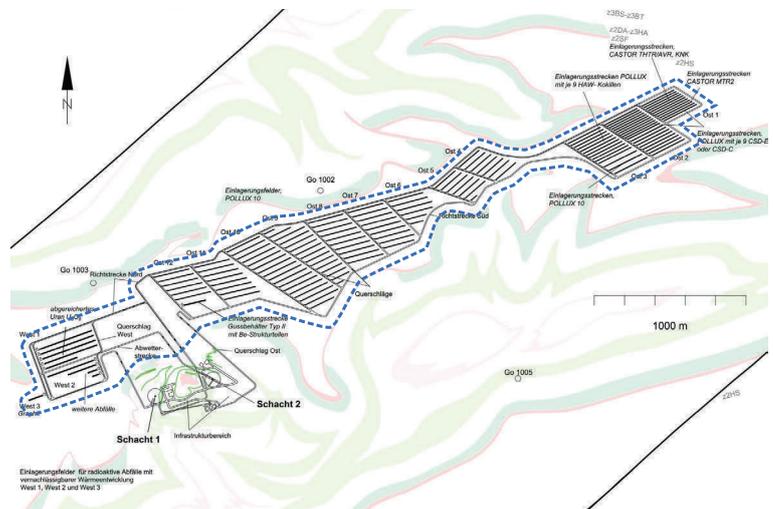


Abbildung 3: Planerische Umsetzung des Sicherheitsabstandes (blau gestrichelte Linie) im Fall der Einlagerungsvariante AB1 (Streckenlagerung) (Quelle: GRS).

Für die Zukunft wird eine systematische Optimierung von Endlagerkonzepten erforderlich sein. Zum Abbau von Ungewissheiten sind unter anderem langzeitige in situ- und Laboruntersuchungen sowie untertägige Erkundungsarbeiten erforderlich.

Forschungsarbeiten zur Rückhaltung von radioaktiven Stoffen in Gesteinen

Als Teil eines Langzeitsicherheitsnachweises für Endlager für radioaktive Abfälle sind unter anderem Szenarien zu betrachten, bei denen es zu einer Mobilisierung von Radionukliden aus den Abfällen und damit zu deren Transport durch das Endlagersystem kommen kann. Wie schnell und in welchem Umfang dieser Transport stattfindet, ist unter anderem abhängig davon, ob radioaktive Stoffe an Mineraloberflächen des Gesteins haften bleiben. Diese sogenannte Sorption stellt daher einen wichtigen Rückhalteprozess dar, da er den Transport der Stoffe verlangsamen und deren Konzentration verringern kann.

Seit einigen Jahren arbeiten die GRS und das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR) im Rahmen der BMWi-geförderten Projekte ESTRAL bzw. WEIMAR daran, Simulationsprogramme zu entwickeln, die zum Beispiel die Anlagerung bestimmter Stoffe an Oberflächen realitätsnah abbilden. Das Projekt WEIMAR (Weiterentwicklung des Smart Kd-Konzepts für Lang-

zeitsicherheitsanalysen) setzt dabei das Projekt ESTRAL (Einbindung von Sorptionsprozessen in Transportprogramme für die Langzeitsicherheitsanalyse) fort.

ESTRAL

Im Projekt ESTRAL werden Mineralgemische betrachtet, die typischerweise in Deutschland in Gesteinsschichten über möglichen Wirtsgesteinen (Salz und Ton) für Endlager vorkommen. Für das Projekt haben die Forscher in einem ersten Schritt die thermo-dynamischen Daten zusammengestellt, die für die Berechnung der Sorption wichtig sind. Da nicht für alle relevanten Minerale Daten vorlagen, wurden fehlende Daten durch umfangreiche Experimente im Geowissenschaftlichen Labor der GRS erhoben. In einem weiteren Schritt ermittelten die Forscher statistisch die Bandbreiten der Sorption für die möglichen Variationen der chemischen Verhältnisse. Sie identifizierten dabei die für die Sorp-

tion wichtigsten Einflussfaktoren. Hierzu zählen neben dem pH-Wert u. a. die Konzentrationen von Kalzium, anorganischem Kohlenstoff und den radioaktiven Stoffen selbst. Abschließend entwickelten sie ein Modell, das die Sorption in Abhängigkeit von einigen relevanten Einflussfaktoren berücksichtigt. Dieses Modell wurde dann in ein Rechenprogramm für die Langzeitsicherheitsanalyse implementiert.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die Methode in der Lage ist, chemische Veränderungen und deren Einfluss auf die Sorption von radioaktiven Stoffen über lange Zeiträume in sehr großen geologischen Gebieten zu beschreiben. 2013 wurden weitere Testrechnungen durchgeführt und mit den Ergebnissen anderer Rechenprogramme und Experimente verglichen.

WEIMAR

Im Anschlussvorhaben WEIMAR steht die Anwendbarkeit des im Projekt ESTRAL entwickelten und in den Rechencode r3t implementierten Konzeptes im Mittelpunkt. Außerdem wollen die Forscher die Sorptions-Datenbasis erweitern und dem Konzept weitere relevante Effekte und Prozesse hinzufügen. Szenarien zu identifizieren, die zu zeitlichen Veränderungen der chemischen Bedingungen führen, ist ein zusätzlicher Aspekt des Projekts. Diese Szenarien sollen dann in entsprechenden Modellrechnungen untersucht werden.

In den Transportmodellen der Langzeitsicherheitsanalyse wurde der Sorptionsprozess bisher vereinfacht durch zeitlich und räumlich konstante Sorptionsparameter beschrieben. Dieser Modellansatz begrenzt den Rechenaufwand, erlaubt es allerdings nicht, räumlich und zeitliche Veränderungen der geochemischen Bedingungen, die beispielsweise durch die Änderung der klimatischen Bedingungen eintreten können, zu berücksichtigen. Eine vollständige Kopplung von Transportcodes und geochemischen Codes führt allerdings zu extrem langen Rechenzeiten für die betrachteten sehr großen Modellsysteme und geologischen Zeiträume. Um dies zu vermeiden, werden die geochemischen Rechnungen von den Transportrechnungen entkoppelt.

Die neue Methode der GRS beschreibt die Sorption als Funktion chemischer Kenngrößen, wie beispielsweise dem pH-Wert.

Derartige Abhängigkeiten von den Kenngrößen werden für Elemente wie Uran mit einem geochemischen Rechenprogramm ermittelt. Das Transportprogramm berechnet die Veränderung der chemischen Kenngrößen und greift zu jedem Zeitpunkt den zugehörigen Sorptionswert für das jeweilige Radionuklid ab. Welchen Einfluss klimatisch bedingte Änderungen der geochemischen Bedingungen auf die Sorption haben, wurde mit dem erweiterten Transportrechenprogramm im Projekt WEIMAR untersucht.

Abbildung 9 zeigt exemplarisch die Entwicklung des pH-Werts (oben) und des zugehörigen Sorptionswerts (unten) in einem zweidimensionalen Modellgebiet mit zwei Grundwasserleitern und einem Grundwassergeringleiter. Erkennbar ist die Korrelation des Sorptionswerts von Uran mit dem pH-Wert in dem oberen Grundwasserleiter und im Grundwassergeringleiter. Bei einem pH-Wert von etwa 7 führt dies zu den höchsten Sorptionswerten in den beiden Abschnitten, wobei im Grundwassergeringleiter grundsätzlich eine stärkere Sorption aufgrund der dort vorliegenden höheren Sorptionskapazität ermittelt wird.

Der Einsatz der neuen Methode ist für den unteren Grundwasserleiter aufgrund des dort vorliegenden hohen Salzgehaltes noch nicht realisiert. Dies soll im Rahmen der weiteren Entwicklungsarbeiten erfolgen.

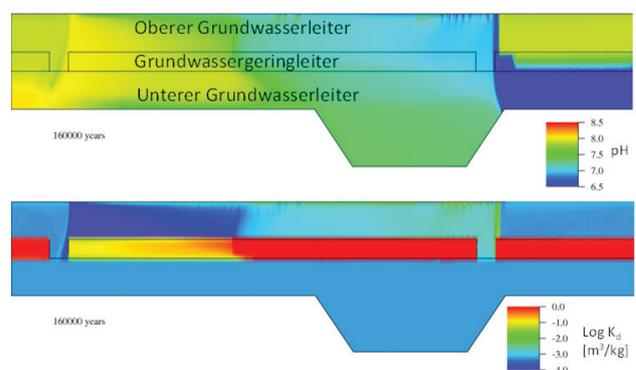


Abbildung 9: Entwicklung des pH-Werts (oben) und des Sorptionswerts K_d [m^3/kg] (unten) für Uran in einem zweidimensionalen Modellgebiet nach 160 000 Jahren Rechenzeit (Quelle: GRS).

Konferenz der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerung (DAEF)



Am 25. und 26. September 2014 fand in Köln die erste Konferenz der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF) statt. Im Mittelpunkt der Veranstaltung mit dem Titel »Key Topics in Deep Geological Disposal« stand die tiefengeologische Endlagerung radioaktiver Abfälle.

Internationales Publikum

Insgesamt 152 Wissenschaftler und Forscher aus 16 Ländern nahmen an der Konferenz teil. In 30 Vorträgen und Posterbeiträgen konnten sich die Teilnehmer einen Überblick über die aktuell diskutierten Themen der Endlagersicherheitsforschung machen. Neben den naturwissenschaftlichen und technischen Seiten der Endlagerung wurden auch die sozialen und gesellschaftlichen Aspekte beleuchtet, die für die Akzeptanz eines Endlagers für radioaktive Abfälle ebenfalls eine wichtige Rolle spielen.

Inhaltliche Schwerpunkte der Konferenz waren u. a.

- /// Endlagerkonzepte in verschiedenen Wirtsgesteinen,
- /// der Betrieb von Endlagerbergwerken,
- /// Regierung und Öffentlichkeitsbeteiligung,
- /// sozio-technische Herausforderungen und Interdisziplinarität,
- /// Errichtung von technischen Barrieren,
- /// wissenschaftliche Aspekte des Sicherheitsnachweises für Endlager und
- /// Vorgehensweisen zur Standortauswahl.

Wissenschaftler der GRS waren mit jeweils vier Vorträgen und Posterbeiträgen beteiligt. Themen waren dabei z. B. die vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben (VSG) oder die thermodynamische Datenbank THEREDA.

Info

DAEF

Die 2013 gegründete Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung (DAEF) repräsentiert führende deutsche Forschungsorganisationen im Bereich Endlagerforschung. Ziel der Arbeitsgemeinschaft ist es, einen Beitrag zur Endlagerung radioaktiver Abfälle zu leisten. Die DAEF setzt sich unter anderem dafür ein, die fachliche Expertise auf dem Gebiet der Endlagerforschung zu erhalten und weiterzuentwickeln sowie den fachlichen Austausch zwischen den Forschenden zu fördern. Die GRS hat derzeit den stellvertretenden Vorsitz in der Arbeitsgemeinschaft inne.

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 Konsequenzanalyse 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.

Entsorgung von freigegebenen Stoffen aus der Stilllegung von Kernkraftwerken

Bei der Stilllegung und dem Rückbau von Kernkraftwerken fallen neben den hochradioaktiven Brennelementen und den radioaktiv belasteten Anlagenteilen, wie beispielsweise dem Reaktor Druckbehälter, auch eine große Menge anderer schwach radioaktiver Stoffe an, die entsorgt werden müssen. Ob diese aus der strahlenschutzrechtlichen Überwachung entlassen werden und damit einem regulären Entsorgungsweg nach Abfallrecht zugeführt werden können, entscheidet sich auf Basis von behördlichen Freigabekriterien. Freigemessene Abfälle können auf Deponien zusammen mit anderen Abfällen entsorgt werden.

Ziel des vom Bundesumweltministerium finanzierten Forschungsvorhabens »Anwendung und Weiterentwicklung von Modellen für Endlagersicherheitsanalysen auf die Freigabe radioaktiver Stoffe zur Deponierung« war es, zu untersuchen, ob der für Personen der Bevölkerung geltende Dosisgrenzwert von 10 Mikrosievert pro Jahr bei diesem Entsorgungsweg langfristig eingehalten werden kann.

Vorgehen

Für die Freisetzung und den Transport von Schadstoffen ist der Wasserhaushalt einer Deponie entscheidend. Nur wenn genügend Wasser im Deponiekörper, das heißt im Abfall selbst, zur Verfügung steht, können überhaupt Schadstoffe ausgetragen werden und in die Umwelt gelan-

gen bzw. zu einem Gesundheitsrisiko für den Menschen werden. Für die Berechnung der Schadstofffreisetzung aus einem Deponiekörper und deren Ausbreitung über das Grundwasser hat die GRS die Modelle SiWaPro DSS (Stofftransport innerhalb der Deponie) und SPRING (Grundwassertransport) angewandt.

Berechnungen mit SiWaPro DSS

Um mehr über den Radionuklidtransport in einer Deponie zu erfahren, wurden Rechnungen mit dem Sickerwasserprognoseprogramm SiWaPro DSS zur Simulation der Freisetzung verschiedener Radionuklide aus Deponien der Klassen DK 0 und DK I durchgeführt. Als Radionuklide wurden für die Berechnungen die in Stilllegungsabfällen »typischerweise« vorkommenden Radionuklide Nickel-63, Strontium-90, Cäsium-134/-137, Plutonium-238, Plutonium-239/240, Americium-241 und Uran berücksichtigt.

Zusammenfassend ergeben sich für die oben genannten Nuklide im Zeitraum von 800 Jahren für die Freisetzung aus einer Deponie der Klassen DK 0 bzw. DK I die in Abbildung 1 dargestellten Konzentrationen. Eine Freisetzung der Nuklide Cäsium-134/-137 und Americium-241 wurde bei den Berechnungen nicht beobachtet. Dies liegt beim Cäsium an der verhältnismäßig kurzen Halbwertszeit von 30 Jahren bei Cäsium-137 und 2 Jahren bei Cäsium-134. Bei Americium liegt es an dem hohen Verteilungskoeffi-

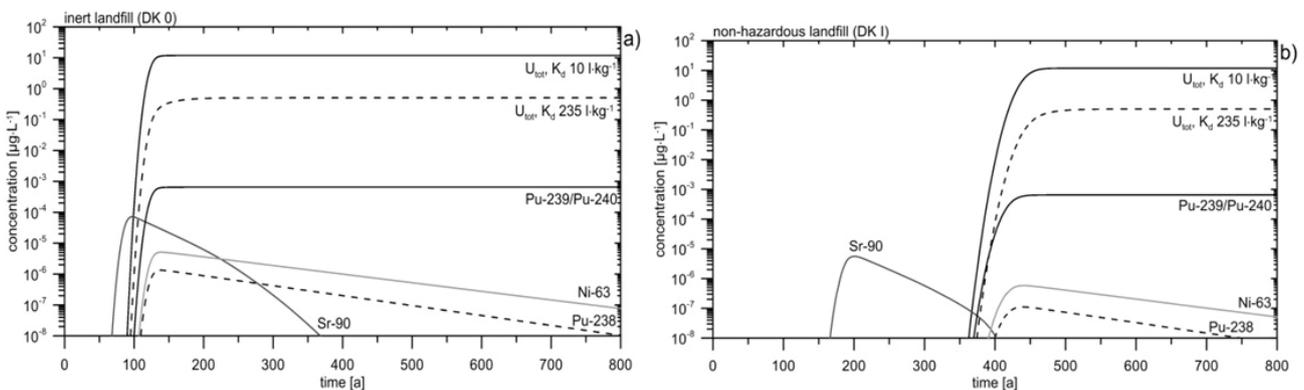


Abbildung 1: Konzentration von freigesetzten Radionukliden über einen Zeitraum von 800 Jahren in einer Deponie der Klasse DK 0 (links) und der Klasse DK I (rechts). Es ist zu beobachten, dass die Freisetzungen in der Deponieklasse DK I wesentlich später beginnen, als in der Deponie der Klasse DK 0 (Abbildung: GRS).

zienten, der in der unteren Deponieabdichtung und der geologischen Barriere herrschte. Strontium-90 wurde hingegen in beiden Deponieklassen freigesetzt. Das Nuklid ist jedoch nach 400 Jahren zerfallen.

Berechnungen mit SPRING

Bei Berechnungen zum Grundwassertransport mit dem Modell SPRING konnte gezeigt werden, dass sich ein vollständig gesättigter Bereich oberhalb der Basisabdichtung in den Deponien der Klassen DK 0 und DK I ausbildet (siehe Abbildung 2, roter Bereich über »Basisabdichtung«). Die Freisetzung aus einer Deponie der Klasse DK I in das Grundwasser wird durch die Basisabdichtung erheblich verzögert oder verhindert. Lediglich bei der De-

ponieklasse 0 wurde eine Freisetzung in das Grundwasser berechnet.

Die Ergebnisse aus den Rechnungen mit einer Deponie der Klasse DK I können auf eine Deponie der Klasse DK II übertragen werden, da sich der Aufbau beider Deponieklassen nur durch eine zusätzliche Dichtfolie in der unteren Barriere unterscheidet. Diese Folie hat eine geschätzte Haltbarkeitsdauer von 100 bis 200 Jahren.

Radionuklide mit einer Halbwertszeit von wenigen Jahren bis Jahrzehnten müssen somit nicht betrachtet werden, da sie in diesem Zeitraum bis zum möglichen Durchbruch in den Grundwasserleiter bereits zerfallen sind.

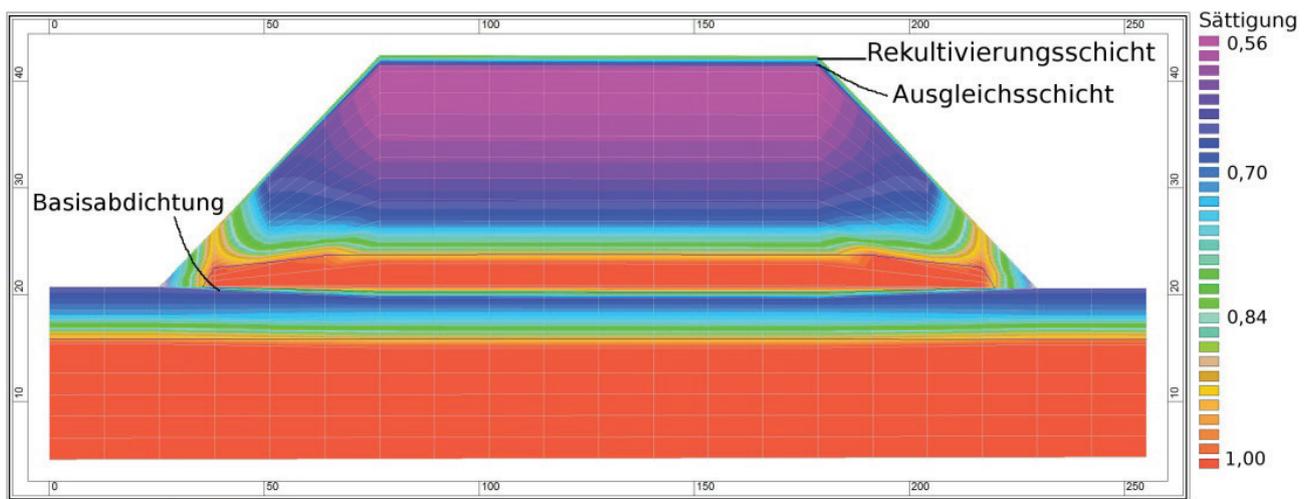


Abbildung 2: Wassersättigung eines generischen Deponiekörpermodells der Deponieklasse DK 0 im Ost-West-Schnitt nach 800 Jahren (Abbildung: GRS).

Grenzwert 10 Mikrosievert

Die Berechnung der Strahlenexposition erfolgte nach dem sogenannten »Brunnenszenario« und dem Rechenalgorithmus nach der allgemeinen Verwaltungsvorschrift zu § 47 der Strahlenschutzverordnung für die relevanten Expositionspfade. Die Ergebnisse der Berechnung der Strahlenexpositionen zeigen, dass unter Langzeitbedingungen die Deponieklasse 0 unter den betrachteten Randbedingungen für die Beseitigung von Feststoffen – in diesem Fall Bauschutt – auf Deponien nicht ausreichend ist, insbesondere wenn der Bauschutt Strontium-90 und/oder Plutonium-239/-240 enthält. Die Freisetzung

von Strontium-90 und den beiden Isotopen Plutonium-239 und Plutonium-240 von der Deponie der Klasse DK 0 ins Grundwasser führt rechnerisch zu einer zusätzlichen Strahlenexposition $>10 \mu\text{Sv/a}$ für Personen der Bevölkerung.

Bei einer Deponie der Klasse DK 0 müsste für die Altersgruppe <1 Jahr mit ca. 80 Mikrosievert pro Jahr für Plutonium-239/-240 gerechnet werden, für Strontium-90 mit ca. 1,6 Millisievert pro Jahr. In einer Deponie der Klasse DK I würde sich die Strahlenexposition bei Strontium-90

aufgrund des verzögerten Durchbruchs ins Grundwasser in einer zusätzlichen Strahlenexposition von 0,15 Millisievert pro Jahr für diese Altersgruppe widerspiegeln.

Gesamtergebnis

Die Berechnungen zur Strahlenexposition zeigen, dass unter Langzeitbedingungen das 10 Mikrosievert-Kriteri-

um in den Deponieklassen DK I, DK II und DK III für die Beseitigung von Feststoffen eingehalten werden kann. Bei der DK III werden dabei höhere Anforderungen an die Wirksamkeit der Basisabdichtung gestellt. Dies trifft auch dann zu, wenn ausschließlich freigegebenes Material aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen deponiert werden würde und somit keine Mischung (»Verdünnung«) mit konventionellem Müll erfolgt.

Info

Deponieklassen

Die Deponieverordnung in Deutschland sieht je nach Grad der Umweltgefährdung der dort gelagerten Abfälle vier Deponieklassen vor:

Deponieklasse 0 (DK 0) für inerte bzw. reaktionsträge Abfälle

Deponieklasse I (DK I) für nicht gefährliche Abfälle mit sehr geringem organischen Anteil

Deponieklasse II (DK II) für nicht gefährliche Abfälle mit geringem organischen Anteil. Deponien der Klasse DK I und DK II unterscheiden sich lediglich durch eine vorhandene Bitumen- oder Kunststoffschicht (DK II) am Boden der Deponie

Deponieklasse III (DK III) für gefährliche Abfälle (oberirdische Deponie)

Deponieklasse IV (DK IV) für gefährliche Abfälle, die in einer Untertagedeponie gelagert werden, beispielsweise in einem Bergwerk

Arbeiten der GRS zum radiologischen Arbeitsschutz

Die Strahlenexposition von Personen, die beruflich mit radioaktiven Stoffen umgehen oder ionisierende Strahlung für industrielle oder medizinische Anwendungen nutzen, muss überwacht werden. Darüber hinaus müssen alle vernünftigen und sinnvollen Maßnahmen ergriffen werden, um die Strahlenexposition auch unterhalb der Grenzwerte so niedrig wie möglich zu halten.

In einem vom BMUB finanzierten Vorhaben wertet die GRS jährlich die betrieblichen Dosimetriedaten für Arbeiter in deutschen kerntechnischen Anlagen aus (Prototyp- und Leistungsreaktoren sowie Anlagen der Ver- und Entsorgung) und erarbeitet auf dieser Basis Empfehlungen zur Fortentwicklung und Optimierung des radiologischen Arbeitsschutzes. Ein erheblicher Teil der beruflichen Strahlenexposition entsteht während der Revisionstätigkeiten in kerntechnischen Anlagen. Insbesondere seit der Änderung des Atomgesetzes im Jahr 2011 gewinnen auch die Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Stilllegung und dem Abbau von kerntechnischen Anlagen zunehmend an Bedeutung im radiologischen Arbeitsschutz.

Erfassung von Daten zur beruflichen Strahlenexposition

Die Strahlenexposition einer Person, die in einer kerntechnischen Anlage tätig ist, wird mithilfe eines Personendosimeters erfasst. Zudem wird die Anlage von einem komplexen System überwacht, das die Ortsdosisleistung in einzelnen Bereichen erfasst. Auf Grundlage dieser Daten und der Erfahrungen aus dem Betrieb, der Stilllegung und dem Rückbau, werden die Arbeiten in einer kerntechnischen Anlage geplant. Übergeordnetes Ziel ist es, die Strahlenexposition für Mitarbeiter während ihres Einsatzes in kerntechnischen Anlagen möglichst gering zu halten. Dazu wird die Arbeitsplanung und -durchführung kontinuierlich optimiert.



Dekontaminationsarbeiten mittels Trockenstrahlen beim Rückbau einer kerntechnischen Anlage (Foto: EWN Energiewerke Nord GmbH).

Aspekte der Bewertung der betrieblichen Dosimetrie

Grundlage für die Untersuchungen der GRS sind die Expositionsdaten aus der betrieblichen Dosimetrie aller Personen (Eigenpersonal und Fremdpersonal), die in einer kerntechnischen Anlage in Deutschland tätig sind. Die Informationen basieren vor allem auf Daten zur externen Strahlenexposition des Personals, die die Betreiber kerntechnischer Anlagen an das Information System on Occupational Exposure (ISOE) sowie direkt an die GRS melden. Das ISOE wird von der IAEA und der OECD NEA finanziert.

Die Informationen aus der betrieblichen Dosimetrie beinhalten auch tätigkeitsbezogene Dosiswerte, welche unter anderem durch ergriffene Schutzmaßnahmen, die Arbeitsorganisation, die Auslegung der Anlage oder die bei den Arbeiten verwendeten Technologien beeinflusst werden. Diese Aspekte enthalten Informationen, die bei der Erarbeitung optimierter Vorgehensweisen für einzelne Tätigkeiten von Bedeutung sein können.

Betriebliche Dosimetriedaten 2013

Die Daten zur beruflichen Strahlenexposition in deutschen Kernkraftwerken für das Jahr 2013 zeigen für die aktuell sich noch im Leistungsbetrieb befindlichen Kernkraftwerke einen weiterhin abnehmenden Trend für die Strahlenexposition der Beschäftigten (siehe Abbildung 3). Für die in 2011 endgültig abgeschalteten acht Kernkraftwerke hat sich die Strahlenexposition gegenüber den Vorjahren zum Teil deutlich verringert. Dies liegt unter anderem daran, dass dosisintensive Tätigkeiten, wie sie

während des Betriebs üblich sind, in der Phase des sogenannten Nachbetriebs nicht mehr durchgeführt werden. Für die elf in Stilllegung befindlichen Kernkraftwerke liegt die mittlere Jahreskollektivdosis in 2013 bei etwa einem Neuntel des Wertes der für die Kernkraftwerke in Betrieb gemittelten Jahreskollektivdosis. Die ebenfalls aufgearbeiteten Daten zur Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft und dem Abwasser zeigen insgesamt keine relevanten Änderungen in den letzten Jahren und liegen größtenteils weit unter den gesetzlichen Grenzwerten.

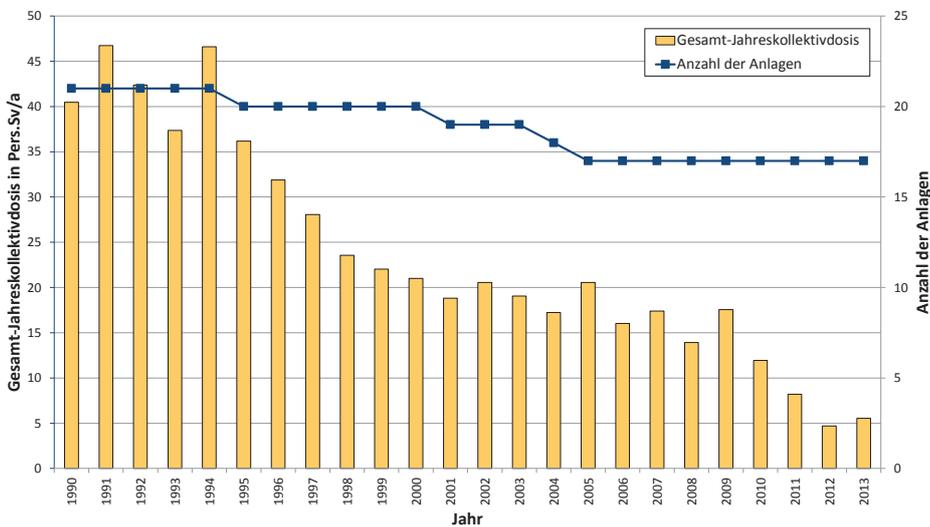


Abbildung 3: Jahreskollektivdosis (in Personensievert/Jahr) aller deutschen Kernkraftwerke im Leistungs- und Nachbetrieb seit 1990. Schwankungen wie z.B. von 2008 auf 2009 ergeben sich durch die wechselnden Revisionszyklen (Abbildung: GRS).

Sicherheitsaspekte beim Transport radioaktiver Stoffe

In der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich etwa 650.000 bis 750.000 Versandstücke mit radioaktiven Stoffen transportiert. Diese Stoffe stammen aus den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen und umfassen daher ein breites Spektrum radioaktiver Substanzen und unterschiedlich hohe Aktivitäten. Ihre Beförderung ist – wie bei anderen Gefahrgütern auch – nur unter Beachtung spezieller Vorschriften zulässig. Die hierfür geltenden Sicherheitsanforderungen beruhen weltweit auf den Transportvorschriften der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO). Innerhalb der Organisation bearbeitet das Transport Safety Standards Committee (TRANSSC) als Fachgremium Vorschläge für die Anpassung dieser Vorschriften.

2013 war die GRS in zwei Projekte zum Thema Transportsicherheit involviert. Dabei handelt es sich zum einen

um die Entwicklung eines Rechentools zur Berechnung neuer Aktivitätswerte gemäß den Transportvorschriften und zum anderen um die Mitwirkung an einem Regeländerungsvorschlag für die Anforderungen in den Transportvorschriften der IAEO.

Deklaration radioaktiver Stoffe

Die Transportvorschriften der IAEO sehen für die Beförderung radioaktiver Stoffe bestimmte Kategorien vor, unter anderem die Deklaration als Stoffe mit geringer spezifischer Aktivität (low specific activity – LSA). LSA-Stoffe unterscheiden sich z. B. hinsichtlich der Höhe ihrer spezifischen Aktivität (Aktivität pro Masse), des Materials und des Aggregatzustandes und daraus resultierend in der Art der zulässigen Verpackung. Stoffe mit dieser Deklaration müssen eine begrenzte spezifische Aktivität

haben – wobei äußere Abschirmmaterialien, wie zum Beispiel ein Behälter, bei der Berechnung nicht berücksichtigt werden.

LSA Stoffe werden in die Gruppen LSA I bis LSA III unterteilt. Ausschlaggebend für die Einteilung sind die jeweiligen Stoffeigenschaften. LSA III-Stoffe sind hierbei Stoffe, für die die höchste spezifische Aktivität zulässig ist. Für diese Gruppe schreiben die derzeit gültigen Transportvorschriften einen sogenannten Auslaugtest (leaching test) vor. Danach müssen LSA III-Stoffe relativ unlöslich sein und selbst nach Verlust der Verpackung und vollständigem Eintauchen in Wasser für sieben Tage, dürfen die ausgelaugten radioaktiven Stoffe eine Aktivität von $0,1 A_2$ (mehr zu A-Werten siehe unten) nicht übersteigen.

Untersuchungen der GRS zum Auslaugtest

Im Rahmen des Vorhabens »Entwicklung eines Regeländerungsvorschlages für die Anforderungen in den IAEO-Transportvorschriften TS-R-1 zum Auslaugtest für LSA Material« hat die GRS untersucht, inwieweit der bislang geforderte Auslaugtest für die sichere Beförderung von LSA III-Stoffen notwendig ist.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Auslaugtest keinen relevanten Beitrag zum sicheren Transport radioaktiver Stoffe leistet, vielmehr wird das geforderte Sicherheitsniveau bereits durch andere Vorschriften für LSA III-Stoffe erreicht. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde ein entsprechender Regeländerungsvorschlag formuliert. Die Untersuchungsergebnisse wurden zudem gemeinsam mit dem Bundesamt für Strahlenschutz auf dem International Symposium on Packaging and Transportation of Radioactive Materials 2010 und 2013 präsentiert sowie im Journal of Packaging, Transport, Storage & Security of Radioactive Material im Jahr 2013 veröffentlicht.

A- und Q-Werte bei der Kategorisierung von radioaktiven Stoffen

Zur Kategorisierung von radioaktiven Stoffen gemäß der Transportvorschriften – wie z. B. LSA-Stoffe – aber auch zur Festlegung der für die Beförderung zu verwen-

denden Verpackung, werden in den Transportvorschriften der IAEO sogenannte A-Werte verwendet. Diese A-Werte sind nuklidspezifisch und geben an, welche Aktivität maximal in einem Typ A-Versandstück befördert werden darf. Für andere Versandstücktypen gelten entsprechend Vielfache oder Bruchteile dieser A-Werte.

Die Berechnung der A-Werte erfolgt nach dem sogenannten Q-System, welches in den 1980er Jahren entwickelt wurde. Danach werden zunächst Q-Werte für einzelne Expositionspfade (Möglichkeiten, wie radioaktive Stoffe zu einer Dosis beim Menschen führen können) berechnet und miteinander verglichen. Aus den jeweils restriktivsten Q-Werten werden die A-Werte für ein Nuklid bestimmt, wobei diese nochmals unterschieden werden in einen A_1 -Wert für umschlossene radioaktive Stoffe und einen A_2 -Wert für sonstige radioaktive Stoffe. In den IAEO Transportvorschriften sind Q- und A-Werte für ca. 370 Nuklide gelistet. Es kommt jedoch vor, dass auch noch nicht in den Transportvorschriften explizit aufgeführte radioaktive Stoffe befördert werden sollen. Für diese müssen dann neue A-Werte berechnet werden.

Berechnung neuer A-Werte

Im Rahmen eines Eigenforschungsvorhabens zum Transport radioaktiver Stoffe hat die GRS 2013 damit begonnen, ein Rechentool zur Berechnung neuer A-Werte gemäß den Transportvorschriften und den Randbedingungen des Q-Systems zu entwickeln. Dem voraus ging eine intensive Recherchephase zu den bisherigen in den Transportvorschriften gelisteten Nukliden und den Rechenparametern und Annahmen im Q-System.

2013 tagte auf Anregung von Mitgliedern der TRANSSC das erste Mal eine internationale Arbeitsgruppe bei der GRS. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit wurden die bisherigen Ergebnisse der beteiligten Organisationen zu Berechnungen nach dem Q-System zusammengeführt. Mittelfristig sollen in der Arbeitsgruppe Vorschläge entwickelt werden, wie die A-Werte aktuellen Daten und Erkenntnissen angepasst und Schwachstellen des Q-Systems verbessert werden können. Diese Vorschläge sollen dann Mitgliedern der TRANSSC vorgestellt werden.

Übungsentwurf zum Notfallschutz für das Bundesamt für Strahlenschutz

Die GRS unterstützt kontinuierlich die für den Notfallschutz zuständigen Bundesbehörden, das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) und das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Die Tätigkeiten der GRS auf diesem Gebiet umfassen neben Schulungsangeboten für Behördenmitarbeiter und der Bereithaltung einer GRS-eigenen Notfallorganisation zur Unterstützung des BMUB unter anderem auch die Planung, Durchführung und Auswertung von realitätsnahen Notfallschutzübungen. Erkenntnisse aus den Übungen werden hinsichtlich der Optimierung der Notfallorganisation ausgewertet.

Im Auftrag des BfS hat die GRS 2014 die Stabsrahmenübung CORE 2014 entwickelt und geleitet, an der u. a. eine kerntechnische Anlage in Deutschland, das BfS, das BMUB und das Notfallzentrum der GRS teilgenommen haben.

Vorbereitungen

Zur Durchführung der Übung wurde von der GRS ein Ereignisablaufplan (sogenanntes »Drehbuch«) auf Basis eines Unfallszenarios erarbeitet. Unterstellt wurde ein Erdbeben im Bereich des Kernkraftwerks, das zu einem Netzausfall in der Region führen sollte. In Form sogenannter »Einspielungen« wurden im Drehbuch chronologisch alle Handlungen der einzelnen Akteure und die Entwicklung der Situation auf der Anlage im zeitlichen Verlauf der Übung unterstellt. Die Einspielungen reich-

ten von Informationen über die anlagentechnischen Parameter, wie die Entwicklung des Füllstands oder einer geplanten Freisetzung in der beübten Anlage, über die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen des BfS bis hin zu Medienberichten und Anfragen der betroffenen Bevölkerung und interessierter Medien.

Beispiel für eine Einspielung:

»9:37 Uhr: Der Druck im Reaktordruckbehälter (RDB) ist auf größer 120 bar angestiegen. Mittelfristig werden vom Betreiber RDB-Versagen und Freisetzungen erwartet. Es erfolgt eine vorläufige Einstufung auf Stufe 2 der Internationalen Bewertungsskala für nukleare Ereignisse (INES).«

Die Einspieler wurden im Verlauf der Übung immer wieder angepasst, abhängig davon, welche Maßnahmen einzelne Akteure ergriffen hatten.

GRS Notfallzentrum

Als Gutachterorganisation des Bundes hält die GRS im Auftrag des BMUB ständig ein Team von Experten unterschiedlicher Fachrichtungen bereit, das bei schweren nuklearen Stör- oder Unfällen Informationen über das Ereignis sammelt, auswertet und Prognosen über mögliche Entwicklungen erstellt. Die Notfallübung CORE 2014 bot daher auch für die GRS eine gute Gelegenheit, ihre Notfallorganisation zu beüben: ein Team, bestehend aus bis zu 15 Personen der Fachbereiche Reaktorsicherheit, Strahlenschutz und Öffentlichkeitsarbeit übte im Notfallzentrum der GRS bei der CORE 2014 mit (siehe Abbildung 4).



Abbildung 4: Blick in das Notfallzentrum der GRS während der Stabsrahmenübung CORE 2014 (Foto: GRS).

Umweltschutz

→ Die GRS befasst sich zunehmend auch mit Themen des Umweltschutzes im Bereich nicht-nuklearer Technologien und Schadstoffe sowie der erneuerbaren Energien. Die Forscherinnen und Forscher setzen dabei ihr Wissen und ihre Erfahrung aus den klassischen Arbeitsfeldern wie z. B. der Anlagensicherheit oder dem Strahlen- und Umweltschutz ein.

Die Geothermie gehört in diesem Zusammenhang zu den jüngeren Aufgabenfeldern der GRS. Einen Schwerpunkt der Arbeiten bildet die Erforschung der Verfügbarkeit und Sicherheit geothermischer Anlagen. (Grund-)Wasser spielt auch in einem weiteren Beschäftigungsfeld der GRS eine Rolle. Um die Wasserversorgung in den Küstenregionen entlang der Nordsee langfristig zu gewährleisten, entwickelt die GRS gemeinsam mit Forschern und Fachleuten aus der Wasserwirtschaft neue Strategien, um der Versalzung des Grundwassers in Küstennähe entgegenzuwirken.

Neben der Entsorgung radioaktiver Abfälle beschäftigt sich die GRS auch mit Fragen im Zusammenhang mit der Entsorgung von chemisch-toxischen Abfällen. So wurden in Projekten zur Sicherheit von Untertagedeponien unter anderem Analysen zum Schadstoffgehalt chemisch-toxischer Stoffe durchgeführt. Zu solchen gefährlichen Stoffen zählt auch Quecksilber. Hier hat die GRS gemeinsam mit anderen Forschungsinstitutionen internationale Strategien zur Vermeidung von Quecksilber unterstützt und Informationen über Verfügbarkeit, Nutzen und Kosten quecksilberhaltiger Produkte im Vergleich zu quecksilberfreien Produkten gesammelt und analysiert.



Foto: ©iStockphoto/Jan Kukucka

NAWAK: Sichere Wasserversorgung trotz klimatischem und demografischem Wandel

Derzeit gehen Forscher davon aus, dass die Folgen des Klimawandels an den deutschen Nord- und Ostseeküsten zu einer Versalzung des Grundwassers führen wird. Zudem stehen ländliche Regionen Sachsen-Anhalts vor dem Problem, dass vorhandene Infrastrukturen zur Wasserversorgung aufgrund des Bevölkerungsrückgangs immer weniger genutzt werden. Beide Entwicklungen stellen die regionalen Trinkwasserversorger in den kommenden Jahren vor große Herausforderungen.

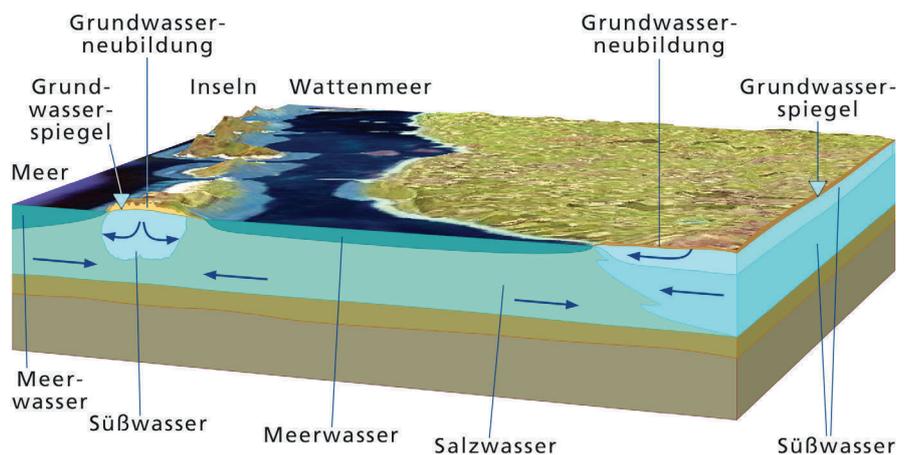


Abbildung 1: Grundwasser in Küstengebieten (Grafik: Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover).

Um diesem Prozess entgegenzuwirken, startete 2013 bei der GRS das Verbundvorhaben NAWAK. Das Vorhaben wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und von der GRS koordiniert. Es ist Teil der Förderinitiative »Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung« des BMBF.

Ziel und Projektpartner

Im Rahmen von NAWAK sollen die Auswirkungen des klimatischen und demographischen Wandels auf die Wasserversorgung in betroffenen Regionen untersucht und Beeinträchtigungen aufgezeigt werden. Als Grundlage für die Untersuchungen werden Modellregionen an der Nordseeküste Niedersachsens und in Sachsen-Anhalt herangezogen. Zu den Küstenregionen zählen das Einzugsgebiet des Wasserwerks in Sandelermöns (Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband OOWV) sowie im Elbe Weser Dreieck die Wasserversorger Stader Land und Land Hadeln.

Die Projektpartner der GRS bei NAWAK sind neben dem OOWV, das Leibniz-Institut für angewandte Geophysik in Hannover, das Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig und der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küste- und Naturschutz.

Vorgehen

Ein zentraler Arbeitsschwerpunkt in NAWAK wird die Ableitung von Szenarien sein. Dazu werden zunächst mithilfe von modernen Rechenprogrammen Prognosen zur Entwicklung der künftigen Grundwasservorkommen erstellt. Auf Grundlage dieser Ergebnisse folgt dann in einem zweiten Schritt die Ableitung individueller Strategien für die Wasserversorgung. Dabei soll es sowohl um konkrete Handlungsempfehlungen zum Grundwassermanagement als auch ggf. um Vorschläge für technische Anlagenverbesserungen gehen.

Die GRS bringt in das Verbundprojekt ihr Know-how in der Szenarienentwicklung und ihre Werkzeuge zur Modellierung von dichteabhängigen Grundwasserströmungen ein.

Projekt GeoSys: Systemanalyse der geothermalen Energieerzeugung Tiefengeothermie

Geothermiekraftwerke nutzen die Wärme aus dem Inneren der Erde und wandeln sie in Strom oder Fernwärme zum Heizen um. Wird die Wärme aus über 400 Metern Tiefe genutzt, spricht man von tiefer Geothermie. In Deutschland sind derzeit 29 Geothermiekraftwerke in Betrieb. Sieben von ihnen sind in der Lage, Strom zu produzieren.

Mit GeoSys – Systemanalyse der geothermalen Energieerzeugung – hat die GRS in 2013 ihr erstes Projekt im Bereich der Geothermie erfolgreich abgeschlossen. Darin sollten mithilfe einer interdisziplinären Systemanalyse die Fortschritte und eventueller Handlungsbedarf im Bereich der tiefen Geothermie aufgezeigt werden. Zum einen, um mittelfristig die Verfügbarkeit und Effizienz der Systeme zu verbessern, zum anderen um die Produktivität und Akzeptanz geothermischer Anlagen zu steigern. Dabei setzte die GRS vor allem auf ihre Erfahrungen aus der Endlagersicherheitsforschung zu physikalischen und chemischen Prozessen und Wechselwirkungen im tiefen Untergrund (z. B. zu salinaren Lösungen, hohen Temperaturen, Materialverhalten).

Gefördert wurde das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Vorgehen

Für die Systemanalyse wurden zunächst die technischen und ökologischen Aspekte sowie die hierbei zu betrachtenden Schutzgüter (menschliche Gesundheit, Boden, Wasser, Sachgüter etc.), Prozesse und Wirkfaktoren (Emissionen, geomechanische Ereignisse, Aspekte der Arbeitssicherheit etc.) identifiziert, verfügbare Daten analysiert und dokumentiert. Die Arbeiten wurden begleitet von einer systematischen Untersuchung des Rechtsrahmens in Bezug auf die geothermische Energiegewinnung, der sich aus Gesetzen/Verordnungen, Verwaltungspraxis, untergesetzlichen Regelwerken und Richtlinien zusammensetzt.



Abbildung 2: Thermalquelle in Island, die durch Wärme aus dem Inneren der Erde beheizt wird (Foto: S. Feige, GRS).

Das Vorhaben berücksichtigte dabei gleichermaßen Planungs-, Explorations- und Einrichtungs-, Test- und Betriebsphase von Geothermiekraftwerken. Auch der Rückbau einer Anlage wurde im Projekt betrachtet.

Die Erkenntnisse der Untersuchungen bildeten dann die Basis für detailliertere Analysen zur geothermischen Energieerzeugung. Dafür wurden konkrete Phänomene in bestimmten Betriebsphasen ausgewählt. Im Rahmen der Analysen wurden sowohl mögliche Anlagenzustände als auch potenzielle Auswirkungen dieser Anlagenzustände auf Schutzgüter in der Umgebung untersucht.

Ergebnisse und Empfehlungen

Die 2013 abgeschlossene Systemanalyse zeigt Wirkungszusammenhänge und Optimierungsbedarf bei der Nutzung der Tiefen Geothermie auf und liefert neue Ansätze und Entscheidungshilfen zum Umgang mit Problemen.

Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick zu den wesentlichen Ergebnissen und Empfehlungen zu denen in GeoSys untersuchten Aspekten Recht, Geothermales Reservoir, Technische Anlage und Umwelt. Der umfassende Abschlussbericht zum Projekt GeoSys ist hier abrufbar.

Recht:

Alles in allem werden die vorhandenen rechtlichen Strukturen hinsichtlich Genehmigung, Betrieb und zukünftiger Stilllegungsphase von Geothermieanlagen, als ausreichend bewertet. Optimierungsbedarf sehen die Forscher unter anderem beim Zugang zu Informationen mit speziellem Bezug zu den Besonderheiten eines Geothermie-Projektes. Sie empfehlen zum Beispiel Umweltinformationen zugänglich zu machen, insbesondere über die verwendeten und auf dem Betriebsgelände gelagerten Stoffe (z. T. wassergefährdend) des Primär- und Sekundärkreislaufs.

Ebenfalls Teil der Empfehlungen ist eine stärkere Harmonisierung des Bergrechts mit anderen Rechtsbereichen wie dem Raumordnungsrecht sowie umweltrechtlichen Fachgesetzen.

Geothermales Reservoir:

Für den sicheren und rentablen Betrieb einer Anlage der Tiefengeothermie ist es von entscheidender Bedeutung, die Veränderungen des Energieträgers Thermalwasser auf seinem Weg aus dem Reservoir in die oberirdische Anlage und zurück ins Reservoir zu verstehen. Dieses Systemverständnis ist jedoch noch lückenhaft und für die drei Geothermie-Regionen Deutschlands unterschiedlich. Um diese Wissenslücke zu schließen, empfehlen die Forscher unter anderem die Weiterentwicklung von Techniken zur Probenahme, die Verbesserung des Anlagenmonitorings und die Untersuchung von elektrochemischen Reaktionen.



Abbildung 3:
Geothermie-Regionen
Deutschlands

(Quelle: GRS).

Technische Anlage:

Generell wird der verstärkte Austausch von Betriebserfahrungen zwischen allen Stakeholdern empfohlen wie er z. B. in der Kerntechnik im Rahmen der World Association of Nuclear Operators (WANO), der VGB Power Tech, der IAEO und der OECD/NEA etabliert ist.

Im Hinblick auf Forschungsvorhaben zur geothermischen Energieerzeugung empfehlen sich aus Sicht der technischen Anlage vor allem Forschungsvorhaben zur

- /// standortangepassten Werkstoffentwicklung bzw. -auswahl zur Vermeidung oder Verminderung von Korrosion und Abrasion,
- /// zur frühzeitigen Detektierung von Korrosion und Abrasion,
- /// zum Einsatz von Inhibitoren, Filterung, Druckhaltung u. a.,
- /// zur Vermeidung oder Verminderung von Scale-Bildung und daraus folgender Abrasion oder Wirkungsgradminderung und
- /// zur Verbesserung der Zuverlässigkeit der Förderpumpen.

Umwelt:

Für geothermische Anlagen sind die hervorgerufenen Umweltauswirkungen im Normalbetrieb nach dem Stand der Technik vertretbar. Vor allem die oberirdischen Wirkfaktoren sind bekannt und gut kontrollierbar. Die unterirdischen Wirkfaktoren sind schwerer zu detektieren und zu beheben, wenn Störfälle auftreten. In diesem Zusammenhang wird unter anderem empfohlen, die internen Sicherheitsstandards (Sicherheitsmanagement-Systeme) der Bohr- und Serviceunternehmen (z. B. Spülungsservice) zu vereinheitlichen und ein verbindliches Sicherheitsniveau länderübergreifend vorzugeben.

Weiterhin schlagen die Forscher in GeoSys vor, die Forschung auf dem Gebiet der Zementation bzw. der Bohrlochverschlüsse weiter voranzutreiben, um damit das Risiko des Versagens der Bohrungsintegrität durch Korrosion oder mechanische Prozesse in der Betriebs- und vor allem in der Nachbetriebsphase so klein wie möglich zu halten. Die Entwicklung neuer Bohrlochver-

schlussstechniken, bestehend aus einer Kombination von langzeitstabilem quellfähigem Bentonit, in Alternanz mit zementierten Bohrlochabschnitten könnte eine Lösung

für die bisher noch offene Frage des Langzeitverhaltens zementierter Bohrlochverschlüsse in der Nachbetriebsphase sein.

Info

»Scale-Bildung«

Die deutlichen Temperatur- und Druckänderungen im Verlauf der Förderung und energetischen Nutzung der Thermalwässer führt das zu, dass aus den übersättigten Lösungen Mineralphasen ausgeschieden werden (sog. Scale-Bildung). Der Abbau der Übersättigungen erfolgt jedoch nicht spontan, sondern ist kinetisch kontrolliert. Das heißt, Ausfällungen finden i. d. R. nicht an den Stellen statt, an denen sich Übersättigungen einstellen, sondern im weiteren Verlauf der Anlage oder noch später nach der Reinjektion im Reservoir.

Diese Scale können zu Problemen während dem Betrieb einer Geothermieanlage führen. Dazu zählt beispielsweise ein hoher Pumpenverschleiß und intensive Korrosion der Verrohrungen sowie häufige Filterwechsel in der obertägigen Anlage. Aber auch der Arbeitsschutz hinsichtlich Scale mit erhöhten Gehalten natürlicher Radionuklide wie Radium und Blei und deren Entsorgung stellen eine Herausforderung dar.

Der Einsatz von sogenannten Inhibitoren (Hemmstoffen) kann die Scale-Bildung zwar verlangsamen, aber nicht verhindern.

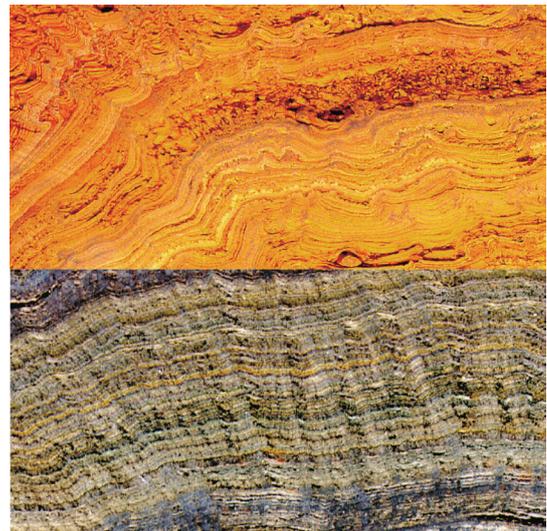


Abbildung 4: Querschnitt von Scale-Ablagerungen salzhaltiger Tiefenwässer
(Foto: S. Feige/GRS).

Projekt ANEMONA: Anlagenmonitoring für Geothermiekraftwerke

Die Entwicklung von Methoden für eine effektive Überwachung von Geothermiekraftwerken beschäftigt Wissenschaftler und Betreiber im Geothermie-Verbundvorhaben ANEMONA (Anlagenmonitoring als Schlüsseltechnologie für den erfolgreichen Betrieb von Geothermiekraftwerken in Deutschland). Gemeinsam mit ihren Projektpartnern, der EnBW AG und dem Geowissenschaftlichen Zentrum der Universität Göttingen, entwickelt und erprobt die GRS neue Monitoring-Technologien für Geothermieanlagen. Gefördert wird das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im 6. Energieforschungsprogramm »Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung«.



Abbildung 5: Förderbohrung und Reinjektionsbohrung des Geothermiekraftwerks Landau. Blau in der Mitte die Förderbohrung mit der Gestängepumpe, rechts rot die Reinjektionsbohrung, hinten mitte das Pumpenhaus für die Reinjektion
(©wikimedia commons/Klaus Ableiter).

Warum Monitoring?

Geothermiekraftwerke wandeln Erdwärme in Strom oder Fernwärme zum Heizen um. Einige Teile des Kraftwerks reichen in eine Tiefe von bis zu 4.000 Metern. Von dort aus pumpen die Anlagen das heiße Wasser aus geothermischen Reservoirs an die Oberfläche, um die thermische Energie zu nutzen. Das angestrebte Monitoring dient dabei unterschiedlichen Zwecken.

Ein wesentlicher Aspekt ist der Schutz von Mensch und Umwelt. Bei der Förderung geothermaler Wässer können auch natürlicherweise vorkommende radioaktive Stoffe mit in die Anlage an der Oberfläche gefördert werden. Dort können sich diese Radionuklide beispielsweise in Rohrleitungen ablagern (siehe auch Info zu Scale-Bildung auf Seite 74). Bei Arbeiten an entsprechenden Anlagenteilen bzw. beim Aufenthalt in deren näherer Umgebung kann es in der Folge zu Strahlenexpositionen kommen. Ähnliche Phänomene sind beispielsweise auch aus Filteranlagen von Wasserwerken in solchen Gebieten bekannt, in denen der geologische Untergrund einen hohen Anteil an natürlichen Radionukliden aufweist. Eine effektive

Überwachung solcher Ablagerungen ist deshalb vor allem im Hinblick auf die Gewährleistung der Arbeitssicherheit relevant.

Ein effektives Monitoring von Geothermiekraftwerken trägt aber auch dazu bei, solche Anlagen langfristig erfolgreich betreiben zu können. So sollen im Rahmen von ANEMONA unter anderem auch Daten aus den geförderten Thermalwässern gewonnen werden. Die Analyse dieser Thermalwässer soll Einblicke in geothermische Systeme und ihre Entwicklung ermöglichen. Zum anderen können Monitoringdaten dazu beitragen, die Produktivität einer Anlage auf einem möglichst hohen Niveau zu halten. So können beispielsweise bestimmte Ablagerungen an Anlagenteilen die Wärmeübertragung verschlechtern und damit die Effizienz der Anlage verschlechtern. Durch den Einsatz entsprechender technischer Methoden können solche Ablagerungen frühzeitig erkannt bzw. Geschwindigkeit und Ausmaß ihrer Entstehung besser prognostiziert werden. Diese Erkenntnisse ermöglichen es dem Betreiber etwa, Maßnahmen zur Optimierung –

beispielsweise den Einsatz bestimmter Stoffe, aber auch geeignete Instandhaltungsmaßnahmen – zu ergreifen, bevor es zu einer Verschlechterung der Wärmeausbeute oder einem Stillstand der Anlage durch Schäden kommt.

Arbeiten der GRS bei ANEMONA

GRS-Experten prüfen in ANEMONA, ob die Sensoren der Monitorwerkzeuge für den Einsatz in heißen, stark salzhaltigen Thermalwässern geeignet sind. Darüber hinaus entwickeln sie eine Messtechnik, mit der das natürlich vorkommende radioaktive Gas Radon kontinuierlich

im Thermalwasser nachgewiesen werden kann. Die Messtechnik soll in Geothermiekraftwerken im Oberrheingraben erprobt werden. Zudem werden die Forscher das Wachstum von Ablagerungen dokumentieren. Dazu sollen bildgebende Verfahren eingesetzt und Messsensoren an Kontaminationsschwerpunkten angebracht werden.

Die Ergebnisse des Projekts werden nach dessen Abschluss im Jahr 2017 in einem Bericht veröffentlicht. Neben den wissenschaftlichen Erkenntnissen soll dieser Bericht dann bereits auch konkrete Handlungsempfehlungen für die Betreiber enthalten.

Info

Geothermienutzung in Deutschland

Als Geothermie wird die Energie bezeichnet, die in Form von Erdwärme gespeichert ist. Die Erdwärme stammt zu einem großen Teil aus dem radioaktiven Zerfall bestimmter langlebiger Radiokunlide (Uran, Thorium und Kalium) im sogenannten Erdmantel. Der Begriff der Geothermie bezeichnet aber gleichzeitig auch die Nutzung der Erdwärme zur Strom- und Wärmeversorgung. Mit rund 19 Gigawattstunden (GWh) trug die Geothermie in Deutschland im Jahr 2011 rund 0,02 % zur gesamten Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bei (Quelle: Bundesumweltministerium 2012). In Deutschland sind 29 Geothermieanlagen in Betrieb, die tiefe Geothermie (> 400 Meter Bohrtiefe) nutzen – 7 davon erzeugen Strom. Oberflächennahe Geothermie (< 400 Meter Bohrtiefe) zur Deckung des Wärmebedarfs wird in etwa 318.000 Anlagen in Deutschland genutzt (Quelle: Bundesverband Geothermie).

Projekt zum Umgang mit gefährlichen chemischen und biologischen Abfällen in Afrika

Als im August 2006 eine niederländische Firma verbottenweise mehrere hundert Tonnen chemische Abfälle bei Abidjans (Stadt an der afrikanischen Elfenbeinküste) in die Umwelt entsorgt, hat das fatale Folgen: nach einer Information der EU aus dem Jahr 2006 sterben acht Menschen an den Folgen der Umweltgifte, bei Zehntausenden führen sie zu teils gravierenden gesundheitlichen Beschwerden. Neben diesen medial bekannten Umweltkatastrophen finden aber auch vermeintliche Alltagshandlungen wie beispielsweise der übermäßige Einsatz von Pestiziden, die Lagerung von Schwermetallen aus der industriellen Fertigung oder Rohstoffgewinnung, der Umgang mit biologischen Abfällen aus Krankenhäusern oder Schlachthäusern in vielen afrikanischen Ländern unter Bedingungen statt, die umweltschädlich und gesundheitsgefährdend sind.

EU-Projekt zur Unterstützung beim Umgang mit gefährlichen Abfällen

Um Institutionen und Fachpersonal vor Ort im Umgang mit diesen Abfällen zu sensibilisieren und das erforderliche Know-how zu vermitteln, startete im Januar 2014 das von der EU-Initiative Centres of Excellence initiierte Projekt »Management of Hazardous Chemical and Biological Waste in the African Atlantic Facade Region«. Das Vorhaben wird von der spanischen Stiftung Fundación Internacional y para Iberoamérica de Administración y Políticas Públicas (FIIAPP) koordiniert und gemeinsam mit Partnern aus Deutschland (GRS), Spanien (La Asoc-



Foto: CBRN Initiative



CBRN
**Centres
of Excellence**
An initiative of the European Union

ciación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Italien (ICIS, Informationsservice für Markt der petrochemischen Industrie) und acht afrikanischen Partnerländern durchgeführt. Zu den Partnerländern zählen die Elfenbeinküste, Gabun, Liberia, Mauretanien, Marokko, Senegal und Togo und Tunesien. Finanziert wird das Projekt von der Europäischen Union.

Projekthalt und -ablauf: Bestandsaufnahme

In der ersten Phase des Projekts, die rund ein Jahr dauerte, wurden zunächst internationale Anforderungen und Richtlinien für den sicheren Umgang mit gefährlichen chemischen und biologischen Abfällen zusammengestellt. In einem weiteren Schritt wurde unter anderem der Bestand dieser Abfälle in den jeweiligen Partnerländern ermittelt werden. Erfasst wurden außerdem das Equipment, das die Partnerländer zur Überwachung dieser Abfälle einsetzen und die Anzahl der chemischen und biologischen Referenzlabore, in denen die Länder beispielsweise Proben der Abfälle untersuchen können. Zusätzlich zu diesen Erhebungen wurden auch Angaben zur Verbrennung von Abfällen, dem Export von Phosphaten, den Beständen von abgelaufenen Chemikalien (Pestizide/Insektizide), zu chemischen Abfällen aus Branchen wie Petrochemie, Landwirtschaft oder Pharmazie, zu chemisch belasteten Standorten und zu gefährlichen biologischen Abfällen aus Krankenhäusern oder Schlachthäusern ausgewertet.

Ausbildung, Schulung und Bestpractice

Im Mittelpunkt der zweiten Projektphase (ca. 30 Monate) steht die Entwicklung und die Umsetzung eines nachhaltigen Ausbildungs- und Schulungssystems zur Abfallwirtschaft für gefährliche chemische und biologische Abfälle. Dazu werden unter anderem rund 160 Labortechniker und Wissenschaftler jeweils vor Ort in Trainings und Workshops geschult. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil ist die Sensibilisierung der beteiligten Institutionen und ihres Personals. Dabei geht es einerseits darum zu vermitteln, welches Gefährdungspotenzial von chemischen und biologischen Abfällen beispielsweise im Hinblick auf terroristische Zwecke ausgeht. Andererseits soll auch ein fachlicher Austausch zwischen den Ländern und auch zu internationalen Partnern etabliert werden. Schließlich ist vorgesehen, die fachliche Kapazität auch in den Referenzlaboren (siehe Phase 1) zu stärken, so dass beispielsweise mehrere Mitarbeiter/innen eines Labors über die Fertigkeiten und das Wissen verfügen, um bestimmte Messungen oder Prüfungen von chemischen und biologischen Abfallkomponenten vornehmen zu können.

Aufgaben der GRS

Aufgabe der GRS in diesem Projekt wird es sein, vor Ort die Abfallvorkommen und -mengen jedes Landes zu ermitteln und diese Daten in einer Datenbank zu erfassen. Diese Daten bilden dann die Grundlage für die Entwicklung der späteren Schulungs- und Ausbildungsinhalte. Für das Projekt kann die GRS auf umfangreiche Erfahrungen zurückgreifen, die sie im Rahmen von Forschungsarbeiten zu chemisch-toxischen Schadstoffen gesammelt hat. Arbeitsschwerpunkte waren beispielsweise Untersuchungen zur untertägigen Entsorgung chemisch-toxischer Abfälle. Dabei hat die GRS unter anderem Konzepte entwickelt, wie diese Stoffe von der Umwelt isoliert werden können. Mit der Unterstützung von Transfer- und Schwellenländern hat die GRS in mehreren, von der EU geförderten, Forschungsvorhaben zu Vorkommen und Entsorgung des Schadstoffs Quecksilber bereits Erfahrungswerte sammeln können.



Foto: CBRN Initiative

Unterstützung ausländischer Behörden und TSO

→ Die GRS engagiert sich seit mehr als zwei Jahrzehnten in internationalen Projekten und unterstützt beispielsweise ausländische Aufsichtsbehörden und Technische Sicherheitsorganisationen durch Beratung und Know-how-Transfer sowie durch die Bearbeitung konkreter Fragestellungen als Sachverständige. Daneben beteiligt sich die GRS an zahlreichen Projekten im Rahmen internationaler Programme und Vorhaben, die von der EU und internationalen Institutionen wie der Europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (EBEW) finanziert werden. Dazu zählen beispielsweise seit den 1990er Jahren Projekte zur Förderung der nuklearen Sicherheit in Mittel- und Osteuropa. Im Auftrag des BMUB vertritt die GRS Deutschland unter anderem in internationalen Gremien zur Reaktorsicherheit und Entsorgung. Im Folgenden werden einige Beispiele für internationale Tätigkeiten der GRS näher vorgestellt.

Unterstützung ausländischer Behörden

Niederlande

Die GRS hat im Auftrag der niederländischen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden KFD (Kernfysischer Dienst) und EZ (Ministerie van Economische Zaken, niederländisches Wirtschaftsministerium) zahlreiche Arbeiten durchgeführt. Unter anderem ging es dabei um die Bewertung von Unterlagen zum vorgesehenen Langzeitbetrieb des niederländischen Kernkraftwerks (KKW) Borssele. Der dazu entstandene Abschlussbericht enthält eine Reihe von Empfehlungen zur Verbesserung der betrieblichen Praxis im Falle eines Langzeitbetriebs. Sie betreffen insbesondere die Verbesserung der vorhandenen Alterungsmanagementprogramme, zusätzliche Prüfmaßnahmen für die Komponenten der druckführenden Umschließung, zusätzliche Nachweise zum Alterungsverhalten verschiedener eingesetzter Konstruktionswerkstoffe sowie die Vervollständigung der vorliegenden Ermüdungsanalysen.



Abbildung 1: Kernkraftwerk Borssele (Foto: @wikimedia commons/A.Nagel).

Zudem hat die GRS auf Basis der von ihr maßgeblich entwickelten deutschen »Sicherheitsanforderungen an KKW« die Sicherheitsstandards für Kernreaktoren in den Niederlanden erstellt. Die niederländische Behörde hat die »Dutch Safety Requirements for Nuclear Reactors«

(DSR) in einer »IAEA Expert Mission« überprüfen lassen, wobei die GRS im Auftrag der Behörde direkt in die Überprüfung eingebunden war.

Einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten der GRS bildeten die Auswertung und Diskussion von Berichten zur dritten Periodischen Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) des KKW Borssele. Die PSÜ wurde im Wesentlichen nach den Vorgaben des IAEA Specific Safety Guides SSG-25 durchgeführt. Entsprechend wurden vom Betreiber Berichte zu verschiedenen sicherheitstechnisch bedeutsamen Themen, sogenannten »Safety Factors«, vorgelegt. Die GRS hat umfangreiche Dokumente zu insgesamt elf Safety Factors ausgewertet. Diese betrafen z. B. die Themen Auslegung, aktueller Zustand der technischen Einrichtungen, deterministische Sicherheitsanalyse und Betriebserfahrungsauswertung. Die Ergebnisse der Auswertung enthalten Schlussfolgerungen und Empfehlungen an die Aufsichtsbehörde.

Ferner wurde auf Basis des Simulationscodes ATHLET/ATLAS ein Analysesimulator für das KKW Borssele erstellt, mit dem ausgewählte Ereignisanalysen durchgeführt wurden. So wurden beispielsweise Störfallanalysen zu einem kleinen Leck und zu einem großen Bruch im Rahmen der Bewertung der PSÜ erstellt.

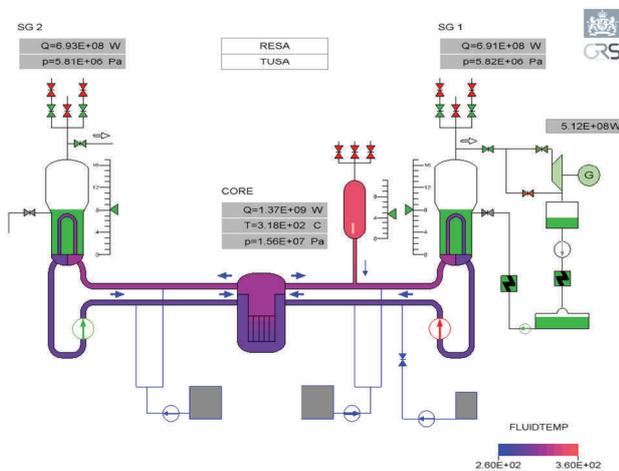


Abbildung 2: Überblick über die Anlage Borssele im Analysesimulator (Quelle: GRS).

Großbritannien

Die britische Aufsichtsbehörde HSE-ONR (Office for Nuclear Regulation) hat im März 2013 eine Ausschreibung zur technischen Unterstützung bei der generischen Sicherheitsbewertung von Reaktorkonzepten gestartet, die bei Kernkraftwerksneubauten zum Einsatz kommen könnten. Die GRS hat im Oktober 2013 den Zuschlag für die Lose

- /// interne übergreifende Ereignisse,
- /// probabilistische Sicherheitsanalysen,
- /// deterministische Sicherheitsanalysen,
- /// Brennstab-Auslegung und
- /// strukturelle Integrität erhalten.

Im November 2013 hat die GRS mit ONR einen Rahmenvertrag zur technischen Unterstützung über eine Laufzeit von 5 Jahren unterzeichnet. Der Schwerpunkt der Arbeiten der GRS liegt unter anderem auf der Unterstützung bei der Bewertung der Anlagenauslegung für den von Hitachi-GE vorgesehenen Siedewasserreaktor Typ UK ABWR. Hierzu wird die GRS anlagenspezifische Simulationsmodelle entwickeln und damit unabhängige Berechnungen des Anlagenverhaltens bei Störungen und Störfällen durchführen.

Vietnam

Gemeinsam mit dem slowakischen ETSO-Partner VUJE wurde 2013 die Kooperation mit der vietnamesischen Behörde VARANS (Vietnam Agency for Radiation and Nuclear Safety) vertieft. Die GRS stellte in diesem Rahmen die Leitungsfähigkeit ihrer nuklearen Simulationskette sowie deren Validierungsstand vor. Bei einem Treffen mit einer vietnamesischen Delegation wurde unter anderem ein Überblick über die deutsche nukleare Sicherheitsstruktur gegeben und über die Arbeitsweise der GRS als TSO informiert.

Libyen

Seit Februar 2013 ist die GRS vom Auswärtigen Amt (AA) mit der Durchführung des Projektes zur Verbesserung der Sicherung von Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen in Libyen beauftragt. Dazu zählt die Ertüchtigung des physischen Schutzes im Tajoura Nuclear Research Centre (TNRC), die Errichtung eines gesi-

cherten nationalen Lagers für sonstige radioaktive Stoffe und die Unterstützung beim Aufbau der zuständigen nationalen Behörde. Darüber hinaus sollen die zuständigen libyschen Behörden bei der Erstellung des sicherungstechnischen Regelwerks unterstützt werden.

Arbeiten für internationale Programme

INSC

Über das INSC-Programm (Instrument for Nuclear Safety Cooperation) der EU beteiligt sich die GRS an der Unterstützung unabhängiger Behörden und Gutachter in Ländern wie Armenien, Brasilien, China, Ukraine, Weißrussland, Vietnam und Mexiko. Ein Schwerpunkt dabei war die Unterstützung der weißrussischen und vietnamesischen Behörden zu Kompetenzaufbau und Wissensmanagement. Bei Workshops in Hanoi und Minsk wurden Experten in die Methodik der Bewertung der Sicherheitsdokumentation während des Genehmigungsverfahrens sowie in die Handhabung und Anwendung moderner deutscher Störfallanalysecodes unterwiesen. Mittelfristig sollen dadurch Wissenschaftler aus beiden Ländern zur Durchführung von unabhängigen Sicherheits- und Störfallanalysen befähigt werden. Ferner hat die GRS zur Unterstützung der mexikanischen Behörde ein erstes Konzept zum Aufbau eigener Kompetenzen für ein Qualitäts- und Wissensmanagement-System erstellt und an einer Strategie zur verbesserten Nutzung von Erkenntnissen aus deterministischen und probabilistischen Analysen im Aufsichts- und Genehmigungsverfahren mitgewirkt.

EU und EBRD

Weiterhin bearbeitet die GRS Projekte in den Förderprogrammen der Europäischen Kommission und der EBWE (Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung). So hat sich die GRS bei der Unterstützung der ukrainischen atomrechtlichen Genehmigungs- und Auf-

sichtsbehörde beteiligt, um die Genehmigungsunterlagen zum Neuen Sicheren Einschluss (NSC – New Safe Confinement) für den zerstörten Block 4 des KKW Tschernobyl zu bewerten. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die vorgeschlagenen Lösungen (vom Standpunkt des sicheren Einschlusses) als angemessen bewertet werden können. Es zeigte sich aber auch, dass es erhebliche Herausforderungen für die Planung und Ausführung zukünftiger notwendiger Arbeiten, wie der Teildemontage instabiler Strukturen des Sarkophags und der Entsorgung gibt (weitere Arbeiten im Zusammenhang mit Tschernobyl siehe auch Abschnitt »Arbeiten im Auftrag des BMUB« in diesem Beitrag).

Im Forschungsprogramm der EU für 2013 hat die GRS den Zuschlag für folgende Projekte erhalten:

- /// ASAMPSA_E: Consequences of combination of extreme external events on the safety of NPPs,
- /// MARISA: Support to the MYRRHA research infrastructure for its development as a pan-European and world-level facility und
- /// ESNII+: Safety and competitiveness of existing and future nuclear installations safety research for the Astrid Gen IV prototype.

Das Kick-off Meeting für das EU-Projekt CESAM, das von der GRS koordiniert wird, fand Anfang Mai 2013 statt.

Arbeiten im Auftrag des BMUB

Osteuropa und andere Regionen

2013 wurde mit Finanzierung des BMUB die Zusammenarbeit mit den Behörden Osteuropas und den IN-SC-Staaten sowie deren TSO fortgeführt. Dazu zählten unter anderem Arbeiten zur Analyse des vorläufigen Sicherheitsberichts des KKW Baltiiskaya, eines russischen Druckwasserreaktors WWER-1200 der neuesten Generation, ein Workshop zur Analyse der Betriebserfahrung russischer, ukrainischer und deutscher KKW sowie Einschätzungen zu Modernisierungsmaßnahmen für das armenische KKW Medzamor.

Die GRS nahm als regulärer Beobachter am Jahrestreffen der Regulatoren der WWER-betreibenden Länder (WWER Cooperation Forum) teil, das Ende 2013 in Indien stattfand. Dieses Treffen ermöglichte die Aktualisierung der Informationen zu den regulatorischen Systemen in diesen Ländern.

Tschernobyl

Im Rahmen einer durch das BMUB mitgeförderten Deutsch-Französischen Initiative wird kontinuierlich eine Datenbank mit verifizierten Daten zu den radiologischen Folgen des Unfalls von 1986 geführt.

Die aus der Datenbank entwickelte Shelter Safety Status Database enthält detaillierte Informationen zum Sarko-

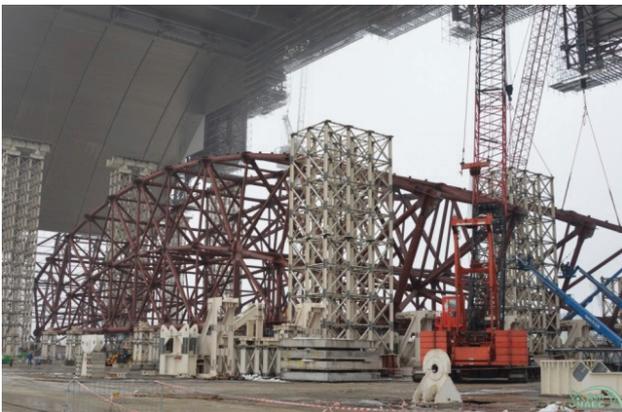


Abbildung 3: Arbeiten am New Safe Confinement in Tschernobyl 2013 (Foto: ChNPP).

phag, dessen Sicherheitszustand und zu seiner unmittelbaren Umgebung. Schwerpunkte der Arbeiten zwischen 2010 und 2013 waren unter anderem Fragestellungen zu radioökologischen Aspekten bei der derzeitigen Errichtung des New Safe Confinement, der geplanten Stilllegung des Kühlteichs und der Sicherung der sogenannten »Waste Dumps« (Abfallgräber) am Standort Tschernobyl. Dazu wurden in Zusammenarbeit mit ukrainischen Experten Daten erhoben und neben der Integration in die Shelter Database auch in Geoinformationssystemen dargestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse können zu Vergleichszwecken bei der Bewertung der radiologischen Folgen des Unfalls von Fukushima herangezogen werden.

WENRA und ENSREG

Darüber hinaus hat die GRS das BMUB bei der Wahrnehmung von Verpflichtungen aus internationalen Kooperationsaktivitäten wie z. B. der Western European Nuclear Regulatory Association (WENRA) unterstützt. Dazu zählten insbesondere Vor- und Nachbereitungen sowie Teilnahme an den Sitzungen der »Reactor Harmonisation Working Group« und den neu eingerichteten Untergruppen Mutual assistance, Natural hazards, Containment in severe accidents und Accident management. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag auf der Änderung der WENRA Referenzlevel im Hinblick auf die Ereignisse des Reaktorunfalls in Fukushima und auf der Erstellung von Leitfäden zu auslegungsüberschreitenden Ereignissen und naturbedingten Einwirkungen. Zuarbeit leistete die GRS auch bei der Erstellung des »National Action Plans« und in der Arbeitsgruppe der European Nuclear Safety Regulator Group (ENSREG), die die weiteren Aktivitäten im Nachgang zum europäischen Stresstest koordiniert.

Joint Convention und Convention on Nuclear Safety

Im Auftrag des BMUB leistet die GRS kontinuierlich fachliche Zuarbeit für die beiden internationalen Übereinkommen »Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste

Management« (JC) und »Convention on Nuclear Safety« (CNS). Dies umfasst im Dreijahresturnus jeweils die Mitwirkung an der Erstellung eines Nationalen Berichts, die Prüfung der Länderberichte der anderen Vertragsstaaten, die Beantwortung der Fragen der anderen Staaten und die Teilnahme an den Überprüfungskonferenzen. Zusammen mit Vertretern des BMUB, des BfS, der Gesellschaft für Nuklear-Service (GNS) mbH, der Länder und externen Sachverständigen, hat die GRS im Mai 2013 mit den Arbeiten zur Erstellung des nationalen Berichts für die fünfte Überprüfungskonferenz der JC im Mai 2015 begonnen. Der Bericht wurde im Oktober 2014 fertiggestellt und an das IAEO-Sekretariat übermittelt.

Die GRS befasste sich in diesem Zusammenhang unter anderem mit allgemeinen Sicherheitsanforderungen bei der Behandlung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle sowie mit Fragen zur Sicherheit beim Betrieb der entsprechenden Anlagen.

Im Rahmen der Arbeiten für die CNS wurde 2013 der von der GRS, dem BMUB und dem BfS gemeinsam verfasste nationale Bericht zur sechsten Überprüfungskonferenz fertiggestellt und veröffentlicht. An der Überprüfungskonferenz 2014 nahm eine deutsche Delegation bestehend aus Vertretern des Bundesumweltministeri-

ums, des Bundesamts für Strahlenschutz, von Landesbehörden, Betreibern und Industrie zusammen mit Gutachtern der GRS teil.

Die Berichte zu beiden Konventionen sind auf der Website des BMUB abrufbar.



Abbildung 4: Nationaler Bericht zur sechsten Überprüfungskonferenz der CNS.

Projektträger/ Behördenunterstützung

➔ Als Projektträger Reaktorsicherheitsforschung (PT/R) unterstützt die GRS seit 1978 Behörden bei der Gestaltung und Umsetzung von Fördermaßnahmen im Zusammenhang mit Fragen der nuklearen Sicherheit. Als solcher bildet die GRS das Bindeglied zwischen dem fördernden Ministerium einerseits und den Institutionen, die für diese Forschung Fördermittel erhalten andererseits. Aufgaben des beliebigen Projektträgers sind die Durchführung von Fördermaßnahmen, die Beratung des BMWi bezüglich aktueller wissenschaftlich-technischer Entwicklungen auf dem Gebiet der Reaktorsicherheitsforschung und die Mitwirkung bei der Planung und Fortschreibung der Förderschwerpunkte.



Foto: © iStockphoto.com/mattjeacock

Auch die nationale und internationale Zusammenarbeit des BMWi zur Sicherheit kerntechnischer Anlagen wird von der GRS aktiv unterstützt. Dies umfasst neben der Erfassung, Archivierung und gezielten nationalen und internationalen Verbreitung von Forschungsergebnissen auch die zielgruppenspezifische Beratung von Förderinteressenten internationaler Forschungsprogrammen. So nimmt der Bereich die Programmkoordination der nationalen Kontaktstelle EURATOM wahr und ist Fachkontaktstelle für den Bereich Kerntechnik und Reaktorsicherheit. Darüber hinaus wird das BMWi bei der Koordinierung und fachlichen Begleitung nationaler und internationaler Gremien unterstützt.

Seit Mitte 2013 unterstützt der Bereich zudem das BMBF bei der Projektsteuerung auf den Gebieten Stilllegung, Rückbau und Entsorgung der kerntechnischen Versuchsanlagen des Bundes an den drei Standorten Karlsruhe, Jülich und Geesthacht. In dieser Funktion prüft die GRS die Planung der Rückbau- und Entsorgungsprojekte und macht Vorschläge zur Optimierung von Planung und Durchführung sowie zur bestmöglichen Nutzung der zur Verfügung stehenden Mittel.

Der Bereich Projektträger/Behördenunterstützung (PT/B) konnte seine Auftragslage in den Jahren 2013/14 weiter ausbauen. Langjährige Projektträgerschaften, wie beispielsweise die Projektträgerschaft Reaktorsicherheitsforschung sowie die Unterstützungsleistungen zur Verstärkung der nationalen und internationalen Zusammenarbeit des BMWi auf diesem Gebiet, wurden erneut an die GRS vergeben. Aber auch neue Aufgabenfelder, wie der Vorsitz im Lenkungsgremium des HALDEN Projekts bei der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) kamen hinzu. Zusätzlich konnten neue Projektausschreibungen gewonnen werden, zum Beispiel die Projektsteuerung im Bereich »Stilllegung, Rückbau und Entsorgung kerntechnischer Versuchsanlagen des Bundes«.

Projektsteuerung Stilllegung, Rückbau und Entsorgung

Die Bundesregierung hat im Zuge der Entwicklung nuklearer Stromerzeugung in Deutschland mehrere Jahrzehnte lang Forschung und Entwicklung von Anlagen zur friedlichen Nutzung der Kernenergie gefördert. Diese reichten von radiologischen Laboren über verschiedene Forschungs- und Prototypreaktoren und die Pilot-Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe bis hin zu Zwischenlagern für radioaktive Abfälle. Die inzwischen größtenteils

außer Betrieb genommenen Anlagen müssen nun zurückgebaut und die radioaktiven Rest- und Abfallstoffe sicher entsorgt werden.

Der Rückbau kerntechnischer Anlagen stellt hohe Anforderungen an Organisation und Planung. Eine Vielzahl interner und externer Einflussfaktoren sind zu berücksichtigen und bestehende Planungen aufgrund veränderter Planungsgrundlagen im Projektverlauf zeitnah und beständig anzupassen. Stilllegung und Rückbau erfordern daher ein effizientes Projekt-Management mit vorausschauenden komplexen Planungen.

Seit Mitte 2013 unterstützt die GRS das BMBF bei der Projektsteuerung auf den Gebieten Stilllegung, Rückbau und Entsorgung der kerntechnischen Versuchsanlagen des Bundes an den drei Standorten Karlsruhe, Jülich und Geesthacht. Dies umfasst derzeit 20 Stilllegungs-, Rückbau- und Entsorgungsvorhaben in vier Rückbaueinrichtungen. Hierzu zählen Projekte der Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe GmbH (WAK), der Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor Jülich GmbH (AVR) sowie des Forschungszentrums Jülich und des Helmholtz-Zentrums Geesthacht.



Abbildung 1: Rückbauarbeiten im AVR:
Ziehen des Mischkühlers
(Foto: AVR GmbH).

Deutscher Vorsitz im Lenkungsgremium des OECD HALDEN Projektes

2014 hatte die GRS für Deutschland den jährlich alternierenden Vorsitz im Board of Management des OECD HALDEN Projektes inne. Die GRS agiert hier als Signatar und nimmt die Interessen des deutschen Teilnehmerkonsortiums im Lenkungsgremium des Projektes wahr. In dieser Funktion richtete die GRS im Juni die 101. Sit-

zung des Boards in Garching aus, an der Vertreter aus 17 Partnerländern teilnahmen. Neben dem Kostenrahmen und der Kostentransparenz war dabei auch das Arbeitsprogramm der kommenden Periode bestimmendes Diskussionsthema.



Abbildung 2: Blick in die Reaktorhalle des Halden Reaktors (Foto: © Wikimedia Commons, IFE/FinnWikiNo).

Info

HALDEN Projekt

Das HALDEN Projekt greift auf experimentelle Infrastruktur am gleichnamigen norwegischen Standort Halden zurück, darunter in erster Linie den HALDEN Forschungsreaktor. Schwerpunktmäßig werden dort das Betriebs- und Störfallverhalten von Kernbrennstoff sowie der Einfluss von Neutronenstrahlung auf die Eigenschaften von Reaktormaterialien untersucht. Darüber hinaus ist seit den 1970er Jahren ein umfangreiches Programm zur Analyse der Mensch-Maschine-Schnittstelle, des menschlichen Verhaltens, zur Wartensystementwicklung sowie zur Analyse der Sicherheit digitaler Systeme Bestandteil des Projektes. Im OECD HALDEN Projekt, das in den 1950iger Jahren als erstes OECD Projekt gegründet wurde, engagieren sich 19 Teilnehmernationen.

ISTec GmbH, RISKAUDIT IRSN/GRS International, ENSTTI

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

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.



Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH

Das Institut für Sicherheitstechnologie (ISTec) GmbH war bis Ende des Jahres 2013 eine 100-prozentige Tochtergesellschaft der GRS. Mit wirtschaftlicher Wirkung zum 1. Januar 2014 wurde ISTec an die TÜV Rheinland Industrie Service GmbH veräußert.

ISTec bietet Diagnosetechnik und Software zur Verfolgung von radioaktiven Reststoffen an und berät Anlagenbauer, Kraftwerksbetreiber, die verarbeitende Industrie, Verkehrsbetriebe und Behörden in Fragen rund um das Thema Sicherheit.

Entwicklung

Ein Schwerpunkt der Arbeiten der Abteilung Entwicklung war 2013 die Umsetzung der gehobenen wasserrechtlichen Erlaubnis für die Planung des Endlagers Konrad. Durch die wasserrechtliche Erlaubnis wird sichergestellt, dass es zu keiner nachteiligen Veränderung des oberflächennahen Grundwassers durch die Einlagerung radioaktiver Abfälle kommt. Die Arbeiten zur Unterstützung des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) bei der Umsetzung der wasserrechtlichen Nebenbestimmungen aus

dem Planfeststellungsbeschluss für das Endlager Konrad wurden 2013 ebenfalls weitergeführt.

Bei der Umsetzung der gehobenen wasserrechtlichen Erlaubnis müssen diverse Aspekte mit einbezogen werden. Eine Hauptaufgabe war es, den Bedarf der Abfallverursacher zur stofflichen Beschreibung der radioaktiven Abfälle in Anträge an die zuständige wasserrechtliche Behörde umzusetzen. Hierzu sind für eine Vielzahl von Stoffen wasserrechtliche Grenzwerte abzuleiten und zu beantragen. Diese Stoffe werden mit ihren spezifischen Parametern in einer zentralen Stoffdatenbank gespeichert, die vom ISTec entwickelt und gepflegt wird. Auf Basis dieser Stoffe erfolgt dann die Beantragung verursacherspezifischer Stoffvektoren. 2013 wurde das erste radioaktive Abfallgebinde bezüglich der wasserrechtlichen Genehmigung beantragt und genehmigt. 541 weitere Abfallgebinde wurden beantragt. Darüber hinaus überarbeitete ISTec die Verfahrensunterlagen zu den Nebenbestimmungen der geplanten Vorgehensweise.

Die Arbeiten zur Entwicklung und Lieferung von Dokumentationssystemen waren von der Umstellung des Reststoff-Verfolgungs- und Kontrollsystems (ReVK) auf eine neue Datenverarbeitungs-Plattform geprägt. Parallel dazu gewährleistet ISTec die Betreuung der Altsysteme. Auf einem ReVK-Workshop im Oktober 2013 stellte ISTec die Neuerungen vor und kündigte gleichzeitig das alte System ab. Ferner wurde auch die Weiterentwicklung des Spezialprogramms zur Abwrackung russischer Atom-U-Boote aufgenommen.

Leittechnik

ISTec konnte 2013 in der Leittechnik das Spektrum seiner Leistungs- und Auftraggeber weiter ausbauen. Dabei standen insbesondere drei Projekte im Vordergrund. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Vorhaben »Entwicklung von Methoden zum Einsatz fehlererkennender Berechnungsverfahren in Hochsprachen für Sicherheitsleittechnik in Kernkraftwerken« wurde erfolgreich vorangetrieben. Ziel des Projektes ist es, Methoden zur Erkennung und Beherrschung von fehlerhaften Berechnungen aufgrund von

Speicher-, Prozessor- oder Adressierungsfehlern in einer Gleitkommaarithmetik zu entwickeln. Im Jahr 2013 erarbeitete ISTec Lösungsansätze für die Einbeziehung logischer Daten und Funktionen.

Im Februar 2013 beauftragte China Techenergy Co. Ltd. ISTec mit der abschließenden Bewertung des FirmSys-Konzepts und der Software-Sicherheitsmodule bezüglich ihrer Eignung für den Einsatz in Systemen mit sicherheitstechnischer Verantwortung in Kernkraftwerken (KKW). Die Arbeiten wurden im Rahmen der unabhängigen Verifikation und Validierung der FirmSys Leittechnikplattform-Software durchgeführt.

Ende November 2013 wurde das Projekt erfolgreich abgeschlossen. Die Bewertungsergebnisse bestätigen die grundlegende Eignung des Konzepts und der Software der FirmSys-Plattform, um Software für Leittechnikfunktionen mit sicherheitstechnischer Verantwortung in KKW zu implementieren.

Im Jahr 2013 wurde zudem mit den Arbeiten für eine generische Nachqualifizierung für das Siemens Prozessleitsystem SPPA-T2000 begonnen. Dabei geht es um Funktionen zur Anwendung für leittechnische Sicherheitsfunktionen in Kernkraftwerken.

Gremienarbeit

ISTec war auch in 2013 in verschiedenen nationalen und internationalen Gremien zur Erarbeitung von Standards und Richtlinien aktiv. Dazu zählen insbesondere die Mitarbeit im Rahmen des KTA-Unterausschusses »Elektrische Einrichtungen«, verschiedene Arbeitskreise der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik und dem Subcommittee 45A »Reactor Instrumentation« der »International Electrotechnical Commission«.

Abteilung Diagnosetechnik

Im Bereich der Windenergie konnten nach dem Verlust des insolventen Hauptauftraggebers Fuhrländer über 95 Prozent der schwingungsdiagnostischen Servicever-

träge für Windkraftanlagen durch Direktbeauftragungen der Betreibergesellschaften, bzw. durch Beauftragung durch die neu gegründete Firma FWT-Trade (Fuhrländer Wind Technologie-Trade), wiedergewonnen werden. Ebenfalls nahm der Verkauf von Windkraftanlagen-Condition-Monitoring-Systemen wieder Fahrt auf. Parallel dazu wurden erste Schritte für eine Geräte-Systemqualifizierung nach den Richtlinien des Germanischen Lloyds unternommen, um auch künftig den Anforderungen der Versicherungswirtschaft bei Maschinenvorsorgemaßnahmen gerecht zu werden.

Im Bereich des Schienenverkehrs konnte das Auftragsvolumen für ambulante Messungen im Bereich der

Radsatzlagerdiagnose sowie im Bereich der Achskuppelungsmessungen ausgeweitet und die Diagnosetiefen weiter optimiert werden. Der Fokus beim Probetrieb der sechs mit ISTec Diagnosetechnik ausgestatteten ICE3-Züge lag auf dem Abgleich der automatisierten on-board-Diagnoseergebnisse mit den bei Werkskontrollen und Halleninspektionen festgestellten Ergebnissen. Durch die konstruktive Zusammenarbeit mit den zuständigen Werken der Deutschen Bahn konnte die Diagnosetiefe der Systeme weiter gesteigert werden, um so den positiven wirtschaftlichen Beitrag der eingesetzten Systemtechnik zu demonstrieren.

Mehr zu ISTec unter www.istec-gmbh.de



RISKAUDIT IRSN/GRS International: Deutsch-französische Kooperation für nukleare Sicherheit weltweit



RISKAUDIT ist als Tochtergesellschaft der GRS und der französischen Technischen Sicherheitsorganisation (TSO) IRSN seit ihrer Gründung vor

über 20 Jahren zu einer festen Einrichtung in der europäischen TSO-Landschaft gewachsen. Sie fördert die Zusammenarbeit der europäischen TSO und stellt die Kompetenz der europäischen Teams Drittländern zur Verfügung – insbesondere für EU-finanzierte Projekte.

INSC

Mit dem Instrument for Nuclear Safety Cooperation (INSC) unterstützt die EU Maßnahmen zur Förderung eines hohen Standards in der nuklearen Sicherheit und im Strahlenschutz sowie Maßnahmen, mit denen die Anwendung effizienter und wirksamer Sicherungsmaßnahmen für Kernmaterial in Drittländern gefördert wird. Das INSC-Programm hat es ermöglicht, Sachverstand

und Know-how über EU-Grenzen hinweg einzubringen. In 2013 war RISKAUDIT im Rahmen von INSC-Projekten neben Europa auch in Asien, Afrika und Südamerika aktiv. Im Fokus der EU Zusammenarbeit unter RISKAUDIT bleibt allerdings die unmittelbare europäische Nachbarschaft. Darunter die Länder Armenien, Weißrussland und die Ukraine.

Ukraine

RISKAUDIT unterstützte die ukrainische Aufsichts- und Genehmigungsbehörde SNIRU unter anderem bei

- /// der Genehmigung von Anlagen zur Behandlung radioaktiver Abfälle,
- /// der (Weiter-) Entwicklung des Sicherheitsniveaus nach europäischem Standard,
- /// der Umsetzung von Maßnahmen zur Betriebssicherheit, der Analyse schwerer Unfälle, der Untersuchung des Verhaltens von Reaktordruckbehältern,

- ⚡ der Aufsicht während der Inbetriebnahme der Abfallbehandlungsanlagen der Kernkraftwerke Riwna und Saporischschja und bei
- ⚡ der Genehmigung und Beratung im Zusammenhang mit der Einführung des Joint Safety Improvement Program an ukrainischen Kernkraftwerken.

Weißrussland

RISKAUDIT unterstützte die weißrussische Aufsichts- und Genehmigungsbehörde unter anderem durch den



Abbildung 1: Blick auf die Baustelle der Anlage Ostrowets in Weißrussland. Man sieht Teile des Sicherheitsbehälters (Foto: RISKAUDIT).

Transfer westlicher Methoden und Praktiken in der regulatorischen Aufsicht und bei der Entwicklung einer technischen Zusammenarbeit zur nuklearen Sicherheit.

Armenien

Der Schwerpunkt der Zusammenarbeit mit der armenischen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde lag auf der Verbesserung der Sicherheitsbewertungen im Zuge des Rückbaus der Anlage Medzamor 2 und bei der Unterstützung zur Durchführung des Stresstests.

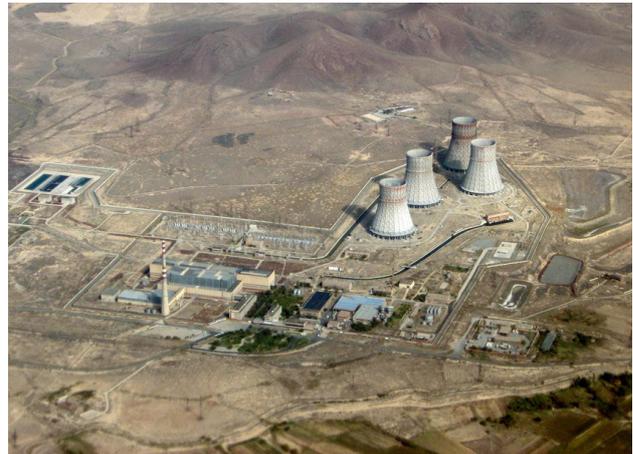


Abbildung 2: Kernkraftwerk Medzamor in Armenien (Foto: Stratocles facelift by ChNPP_wikimediacommons).



European Nuclear Safety Training and Tutoring Institute (ENSTTI)

Die GRS beteiligt sich gemeinsam mit den Technischen Sicherheitsorganisationen aus Frankreich (IRSN), Belgien (Bel V) und Litauen (LEI) an der Europäischen Vereinigung European Nuclear Safety Training and Tutoring Institute (ENSTTI). ENSTTI bietet sowohl Training als auch Tutoring im Bereich der kerntechnischen Sicherheit für Trainees aus aller Welt an.

Die GRS unterstützt ENSTTI unter anderem durch das Bereitstellen von Dozenten für die Durchführung von Fachseminaren. Für die Ausbildung standen 2013 mehr als 100 Trainer und Tutoren zur Verfügung. Insgesamt haben 2013 mehr als 100 Trainees an Weiterbildungskursen von ENSTTI teilgenommen. Die von ENSTTI angebotenen Fachkurse werden auch zur Weiterbildung von GRS-Mitarbeitern genutzt.

Training

ENSTTI kombiniert in seinem alljährlich stattfindenden, englischsprachigen Ausbildungszyklus theoretische und praktische Inhalte. Die Dauer der Kurse beträgt ein

bis vier Wochen. Vom 3. bis zum 28. Juni 2013 fand der Kurs »Induction to Nuclear Safety« in der GRS Garching statt (siehe Abbildung 3). Dieser Kurs richtet sich an junge Berufstätige und Neulinge auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit. 25 Teilnehmer aus Armenien, Frankreich, Jordanien, Polen, Malaysia, Indonesien, der Ukraine, Brasilien, den Vereinigten Arabischen Emiraten, Ägypten, den Philippinen und Vietnam nahmen daran teil.

Das Programm des Induction-Kurses umfasst 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 den Forschungsreaktor FRM II in Garching sowie die PKL-Versuchsanlage bei AREVA in Erlangen.

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



Abbildung 3: Teilnehmer des »Induction-Kurs« in Garching (Foto: GRS).

Spezialkurse

Neben dem Induction-Kurs bietet ENSTTI auch Spezialkurse zu aktuellen Fachthemen an, zum Beispiel zum Sicherheitsmanagement für Genehmigungsbehörden.

Im Jahr 2013 fanden insgesamt 16 dieser Kurse statt, drei davon bei der GRS in Garching und in Köln. Die GRS hat 2013 die organisatorische und fachliche Verantwortung für die Kurse: Induction to Nuclear Safety, Fire Safety in NPP, Safety Assessment II übernommen. Fast alle Kurse wurden von der neuen Generaldirektion der EU, DEVCO (Development and Cooperation – EuropeAid), finanziert.

Tutoring

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

Im Jahr 2013 fanden bei der GRS zwei Tutoring-Kurse statt. Einer fand über zwei Monate in der Abteilung Kernbrennstoff in Garching zum Thema »Introduction into nuclide inventory determination and criticality safe-



Abbildung 4: Mitarbeiter der ukrainischen Behörde bei einem Tutoring Kurs bei der GRS in Garching (Foto: GRS).

ty analysis of spent nuclear fuel« statt. Der zweite Kurs dauerte über vier Monate und fand in der Abteilung Barrierenwirksamkeit in Berlin statt. Thema hier war »Introduction into the containment code COCOSYS and subsequent code application for the investigation of DBA and severe accidents«.

Weitere Informationen über das Institut unter www.enstti.eu.

Kooperationsverträge der GRS mit ausländischen Organisationen (Auswahl)

Partnerland	Organisation	Titel	Beginn
Argentina	ARN (Regulatory Authority)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	14.09.2010
China	CAM (China Academy of Machinery Science and Technology)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	25.03.2012
China	CNPE (China Nuclear Power Engineering Company)	Memorandum of Understanding	28.02.2011
China	CNPRI China Nuclear Power Technology Research Institute	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	29.03.2012
China	NNSA (National Nuclear Safety Administration)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	15.06.1998
China	NSC/MEP (Nuclear and Radiation Safety Center of the Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	28.03.2012
China	SJTU (Shanghai Jiao Tong University)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	23.01.2012
China	SNERDI (Shanghai Nuclear engineering Research and Design Institute)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	04.04.2011
China	SNPI (Suzhou Nuclear Power Research Institute)	Memorandum of Understanding	26.02.2011
Czech Rep.	UJV (Nuclear Research Institute)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	13.01.2010
France	IRSN (Technical Support Organization)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	28.08.2008
France	IRSN (Technical Support Organization)	ASTEC Code Agreement	18.03.2005
Japan	NRA (Nuclear Regulatory Authority)	Cooperation Agreement (Draft) in the field of Nuclear Safety Research	
Japan	JNES (Technical Support Organization)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	17.10.2005
Mexico	CNSNS (Nuclear Authority of the UMS)	Cooperation Agreement (Draft) in the field of Nuclear Safety Research	

6 Anhang · Kooperationsverträge der GRS mit ausländischen Organisationen

Partnerland	Organisation	Titel	Beginn
The Netherlands	KFD (Regulatory Authority)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	14.09.1992
Polen	NCJB (National Centre for Nuclear Research)	Cooperation Agreement (Draft) in the field of Nuclear Safety Research	
Russia	RRC-KI (Nuclear Research Institute)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	02.06.2008
Russia	RRC-KI (Nuclear Research Institute)	Code Agreement	10.01.2003
Slovak Republic	VUJE (Nuclear Power Plant Research Institute)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	03.07.2012
South Korea	KINS (Korea Institute of Nuclear Safety)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	31.05.2012
South Korea	KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute)	Umbrella Agreement	11.11.2013
Switzerland	PSI (Paul Scherrer Institute)	Cooperation Agreement in the field of Nuclear Safety Research	15.07.2009
USA	US-NRC (Nuclear Regulatory Commission)	Implementing Agreement	11.03.2013
Vietnam/ Slovak Republic	VARANS (Vietnam) (Vietnam Agency for Radiation and Nuclear Safety)	Trilateral Memorandum of Understanding (MoU)	19.11.2012
	VUJE (Slovak Republic)(Nuclear Power Plant Research Institute)		
-	EUROSAFE (International Forum)	Memorandum of Understanding	26.07.2004



Foto: © iStockphoto.com/adventtr

Publikationen (Auswahl)

2013		
	Titel	Autoren
GRS-S-53	Fukushima Daiichi 11. März 2011 - Unfallablauf, radiologische Folgen (2., überarbeitete Auflage)	GRS
GRS 289	VSG: Radiologische Konsequenzenanalyse (AP 10)	J. Larue, B. Baltes, H. Fischer, G. Frieling, I. Kock, M. Navarro, H. Seher
GRS 296	Vorschlag zur Einordnung von Szenarien für tiefe geologische Endlager in Wahrscheinlichkeitsklassen	Thomas Beuth
GRS 306	Modelling Gas and Water Flow through Dilating Pathways in Opalinus Clay - The HG-C and HG-D Experiments	Martin Navarro
GRS 303	Aspects on the Gas Generation and Migration in Repositories for High Level Waste in Salt Formations	A. Rübel, D. Buhmann, A. Meleshyn, J. Mönig, S. Spiessl
GRS 307	Die vereinfachte Berechnung der Konvergenzrate salzgrusgefüllter Hohlräume im Steinsalz	Martin Navarro
GRS 310	Handbuch zum Code TOUGH2-GRS.00a	Martin Navarro
GRS 312	Termo-Hydro-Mechanical Processes in the Nearfield around a HLW Repository in Argillaceous Formations - Volume 1: Laboratory Investigations	Ch.-L. Zhang, O. Czaikowski, T. Rothfuchs, K. Wieczorek
GRS 315	TOUGH2 Modellierungen Prä- und Postprozessing	G. Frieling, G. Bracke
GRS 326	Thermodynamic Data for Iron (II) in High-Saline Solutions at Temperatures up to 90 °C	A. G. Muñoz, T. Scharge, H. C. Moog
GRS-A-3680	Weiterentwicklung und Validierung von Rechenmethoden zu Hochabbrand, Aktivierung und Abschirmung	M. Behler, L. Gallner, V. Hannstein et al.
GRS-A-3700	Untersuchungen zur Wirksamkeit von Maßnahmen zur Sicherstellung der Integrität druckführender Komponenten in deutschen Kernkraftwerken	M. Elmas, Dr. U. Jendrich, Dr. F. Michel et al.
GRS-A-3699	Entwicklung eines Quantifizierungsansatzes für Ausfallwahrscheinlichkeiten von Kabeln im Brandfall	J. Herb, E. Piljugin
GRS-A-3701	Bereitstellung von Daten und Methoden zur Beurteilung der Sicherheit bei der nuklearen Ver- und Entsorgung sowie innovativer Kernbrennstoffkonzepte	R. Kilger et al.
GRS-A-3707	Weiterführende Bearbeitung spezieller Themen im Rahmen generischer Sicherheitsanalysen zur Kritikalität von Kernbrennstoffen in der Nachverschlussphase eines geologischen Endlagers	M. Behler et al.
GRS-A-3713	Entwicklung und Einsatz von Neutronentransportmethoden und Unsicherheitsanalysen für Reaktorkernberechnungen	Dr. W. Zwermann, A. Aures, W. Bernat et al.
GRS-A-3718	Simulation der Phänomene bei rissartigen Lecks und Brüchen in Rohrleitungen unter Berücksichtigung der Fluid-Struktur-Kopplung	J. Sievers, H. Grebner, L. Bahr, K. Heckmann, J. Arndt, G. Pallas-Moner

2014		
	Titel	Autoren
GRS 332	Methode für die Analyse und Bewertung der Wechselwirkung zwischen Stress und der Zuverlässigkeit wissensbasierten Handelns in der probabilistischen Sicherheitsanalyse	W. Faßmann
GRS 319	Stochastische Methoden zur Quantifizierung von Sensitivitäten und Unsicherheiten in Kritikalitätsanalysen	M. Behler, M. Bock, M. Stuke, M. Wagner
GRS 327	Methodenentwicklung zur konsistenten Berücksichtigung epistemischer Unsicherheiten probabilistischer Kenngrößen in PSA-Rechnungen	J.-C. Stiller, G. Gänßmantel, J. Peschke, A. Wielenberg
GRS 329	Entwicklung eines PSA-Bewertungsansatzes zur Zuverlässigkeit baulicher Anlagen	D. Suchard, S. Sperbeck
GRS 331	Methodenentwicklung zur Analyse von Personalhandlungen im Rahmen probabilistischer Dynamikanalysen am Beispiel von Brandereignisabläufen mit Brandbekämpfung	J. Peschke, B. Forell, J. Hartung, M. Kloos, W. Preischl, M. Röwekamp

	Titel	Autoren
GRS 351	Analyse kernzerstörungs- und quelltermrelevanter Prozesse mit ASTEC und ATHLET-CD/COCOSYS	<i>W. Klein-Heßling, N. Reinke, H.-W. Chan, D. Krönung</i>
GRS 354	VIRTUS - Virtuelles Untertagelabor im Steinsalz	<i>K. Wiczorek (GRS), J. Behlau (BGR), U. Heemann (BGR), S. Masik (IFF), C. Müller (DBE TEC), M. Raab (IFF), E. Kuate Simo (DBE TEC)</i>
GRS 358	Weiterentwicklung der Rechenprogramme COCOSYS und ASTEC	<i>C. Spengler, S. Arndt, S. Beck, J. Eckel, D. Eschricht, W. Klein-Heßling, H. Nowack, N. Reinke, M. Sonnenkalb, G. Weber</i>
GRS 316	Geosys - Systemanalyse der geothermalen Energieerzeugung	<i>T. Brassler, R. Cannepin, S. Feige, G. Frieling, H.-J. Herbert, C. Heinen, C. Strack, C. Vieten</i>
GRS 353	PEBS - Long-Term Performance of Engineered Barrier Systems (GRS Participation)	<i>K. Wiczorek, O. Czaikowski, R. Mieke</i>
GRS 352	Geoelectric Monitoring of Bentonite Barrier Resaturation in the Äspö Prototype Repository	<i>K. Wiczorek, M. Komischke, R. Mieke, H. Moog</i>
GRS 365	Natürliche Analoga im Wirtsgestein Salz - Teil 1: Generelle Studie (2011) - Teil 2: Detailstudien (2012 - 2013)	<i>T. Brassler, C. Fahrenholz, H. Kull, A. Meleshyn, H. Mönig, U. Noseck, D. Schönwiese, J. Wolf</i>
GRS 362	Untersuchungen zur Sicherheit bei der Beförderung radioaktiver Stoffe - Teil 2: Modellierung radiologischer Folgen im Nahbereich eines Unfalls	<i>C. Richter</i>
GRS 361	Untersuchungen zur Sicherheit bei der Beförderung radioaktiver Stoffe - Teil 1.2: Berechnung von Aktivitätsgrenzwerten - Freigrenzen	<i>C. Richter, P. Eich</i>
GRS 346	Weiterentwicklung und Erprobung von Analysemethoden zur Bestimmung des strukturendynamischen Verhaltens von Containmentstrukturen	<i>J. Sievers, L. Bahr, J. Arndt, C. Heckötter, H. Grebner</i>
GRS 359	Einschätzung der nuklearen Sicherheit von Kernkraftwerken sowie nuklearer Risiken in Osteuropa und anderen Regionen	<i>Holger Wolff</i>
GRS 343	Untersuchungen zur Sicherheit bei der Beförderung radioaktiver Stoffe - Teil 1: Berechnung von Aktivitätsgrenzwerten - Q-Modell (AP 4)	<i>Uwe Büttner</i>
GRS 349	Natural Analogue Study Ruprechtov (CZ)	<i>T. Brassler, W. Brewitz, R. Cervinka, V. Havlová, U. Noseck, F. Woller</i>
GRS 350	Entwicklungen und Untersuchungen zu (T)HMC-Prozessen eines Endlagers für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle - Synthese und Abschlussbericht	<i>Hansmeier, S. Hotzel, I. Kock, H. Seher, T. Weyand (Universität Bonn)</i>
GRS 347	Weiterentwicklung eines Handbuches für Störfallanalysen deutscher Kernkraftwerke	<i>A. Kerner, A. Bröcker, J. Hartung, G. Mayer, G. Pallas Moner</i>
GRS 313	Thermo-Hydro-Mechanical Processes in the Nearfield around a HLW Repository in Argillaceous Formations - Volume II: In-situ-Investigations and Interpretative Modelling	<i>Ch.-L. Zhang, O. Czaikowski, M. Komischke, K. Wiczorek</i>
GRS 340	Analyse von Ereignissen mit gemeinsam verursachten Ausfällen (GVA) aus dem internationalen GVA Datenaustauschprojekt ICDE	<i>B. Brück, A. Kreuser, J. Simon, J. Stiller</i>
GRS 348	VSG: Studies Relating to Human Intrusion into a Repository	<i>T. Beuth (GRS), B. Baltus, W. Bollingerfehr (DBETEC), D. Buhmann (GRS), F. Charlier (nse), W. Filbert (DBETEC), K. Fischer-Appelt (GRS), J. Mönig (GRS), A. Rübel (GRS), J. Wolf (GRS)</i>
GRS 335	Untersuchung moderner Verfahren zur Berechnung der Abschirmung ionisierender Strahlung	<i>M. Bock, V. Hannstein, K. Hummelsheim, S. Keßen</i>
GRS 333	Modellierung des Schadstofftransports in geklüftet-porösen Medien unter Berücksichtigung von Kolloiden mit den Transportprogrammen FRAME und COFRAME	<i>T. Reiche, U. Noseck, J. W. Wolf</i>
GRS 260	Entwicklung von Methoden und Modellen zur Bestimmung des Redoxpotentials salinärer Lösungen	<i>S. Hagemann, B. Bischofer, T. Scharge, D. Schönwiese</i>
GRS 337	Entwicklung einer thermodynamischen Datenbasis für die Geothermie (GeoDat) und Erstellung eines Reservoirmodells für den Standort Groß-Schönebeck	<i>C. Moog, R. Cannepin</i>
GRS 339	Gasausbreitung in unverritztes Steinsalz - Hydro-mechanisch gekoppelte Modellrechnungen mit dem Simulationstool TFC	<i>S. Hotzel</i>

	Titel	Autoren
GRS 342	Anwendung und Weiterentwicklung von Modellen für Endlagersicherheitsanalysen auf die Freigabe radioaktiver Stoffe zur Deponierung	<i>A. Artmann, J. Larue, H. Seher, D. Weiß</i>
GRS 317	Störungen im Stromnetz und Notstromfälle in Kernkraftwerken in den Jahren 2003 bis 2012 - Teil A: Ursachen, Abläufe und Auswirkungen von Netzstörungen. Teil B: Auswertung nationaler und internationaler Betriebserfahrung zu Notstromfällen	<i>C. Quester, D. Sommer, C. Versteegen</i>
GRS 318	Auswirkungen von Partitionierung und Transmutation auf Endlagerkonzepte und Langzeitsicherheit von Endlagern für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle	<i>W. Bollingerfehr (DBETEC), D. Buhmann (GRS), W. Filbert (DBETEC), J. Mönig (GRS)</i>
GRS 345	Berechnung radiologischer Konsequenzen der Freisetzung radioaktiver Stoffe aus einem Endlager in die Biosphäre mit dem Programm BioTREND	<i>T. Reiche, D.-A. Becker</i>
GRS 344	Kurzbeschreibung von PetraSim 5 mit TOUGHREACT 1.2 und Modellaufbau	<i>C. Hansmeier</i>
GRS 338	Methodik und Anwendungsbezug eines Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für ein HAW-Endlager im Tonstein - Sicherheitskonzept und Nachweisstrategie	<i>A. Rübél, A. Meleshyn</i>
GRS 334	Untersuchungen zur Kopplung des Transportprogrammes MARNIE mit dem geochemischen Rechencode PHREEQC	<i>H. Fischer, H. Seher, G. Bracke</i>
GRS 325	Probabilistische Analysen zum Zweiphasenfluss in einem salinaren Endlager	<i>I. Kock, S. Hotzel</i>
GRS 323	PHREEQC - Modellierung des Transportes von CO ₂ in hochsalinaren Lösungen eines Endlagers	<i>T. Weyand (GRS/Universität Bonn), G. Bracke (GRS), B. Reichert (Universität Bonn)</i>
GRS 320	TOUGH2 - Modellrechnungen zum Umströmungsverhalten von Streckenverschlüssen	<i>G. Frieling, G. Bracke</i>
GRS 321	Das EOS-Modul - SALTREP für den CODE TOUGH2-GRS	<i>Martin Navarro</i>
GRS-S-54	Fukushima Daiichi 11. März 2011 - Unfallablauf, Radiologische Folgen (3., überarbeitete Auflage)	<i>GRS</i>

Abkürzungsverzeichnis/Glossar

Abkürzung	Erläuterung
AA	Auswärtiges Amt
ABWR	Advanced Boiling Water Reactor
ANEMONA	Anlagenmonitoring als Schlüsseltechnologie für den erfolgreichen Betrieb von Geothermiekraftwerken in Deutschland
AP-1000	Druckwasserreaktor der Generation III+ des Herstellers Westinghouse
APLBA	Associação dos Pesquisadores do Experimento de grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia, Biosphäre/Atmosphäre Forschungsexperiment Amazonien
ARTM	Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell
ASN	L'Autorité de sûreté nucléaire, Französische Aufsichts- und Genehmigungsbehörde
ASTEC	Accident Source Term Evaluation Code, deutsch-französischer Integralcode
ATHLET	Analyse der Thermohydraulik von Lecks und Transienten, Thermohydraulik Systemrechenprogramm
ATHLET-CD	ATHLET mit Core Degradation
ATHLET-QUABOX/ CUBBOX	3-D-Kernmodell für stationäre und transiente Berechnungen von Reaktorkernen in Leichtwasserreaktoren (LWR)
ATLAS	Analysesimulator für interaktive Anlagensimulation
atw	Internationale Zeitschrift für Kernenergie
Bel V	Belgische TSO
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BilMoG	Bilanzmodernisierungsgesetz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
CCS	Carbon dioxide Capture and Storage, CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung
CESAM	Code for European Severe Accident Management
CFD	Computational Fluid Dynamics, numerische Strömungsdynamik
CFM	Colloid Formation and Migration
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear, Brasilianische Aufsichtsbehörde
CNS	Consejo de Seguridad Nuclear, Spanische Aufsichtsbehörde
CNS	Convention on Nuclear Safety
CO ₂	Kohlendioxid
Co-60	Kobalt-60
COCOSYS	Containment Code System, Programmsystem, mit dem sich u. a. schwere Störfälle in Sicherheitsbehältern von Leichtwasserreaktoren analysieren lassen
COMOS	Condition Monitoring System, Diagnosesystem
CRP	Co-ordinated Research Project, Koordinierte Forschungsprojekte der IAEA

Abkürzung	Erläuterung
DAEF	Deutsche Arbeitsgemeinschaft Endlagerforschung
DB AG	Deutsche Bahn AG
DEKRA	Deutscher Kraftfahrzeug-Überwachungs-Verein
DORTAKTIV	Programmsystem zur rechnerischen Behandlung der Aktivierung durch Neutronen
DRiMa	International Project on Decommissioning Risk Management
DSR	Dutch Safety Requirements
DWR	Druckwasserreaktor
EBEW	Europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung, auch EBRD
EL&I	Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Ministerium für Wirtschaft, Landbau und Innovation, Niederlande
EMIL	Entwicklung von Methoden und Instrumenten für den Langzeitsicherheitsnachweis
ENRESA	Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A., nationale Entsorgungsgesellschaft Spaniens
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
ENSREG	European Nuclear Safety Regulator 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
EPZ	Niederländischer Stromproduzent und KKW-Betreiber
ERAM	Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
ERMSAR	European Review Meeting on Severe Accident Research
ESK	Entsorgungs-Kommission
ESTRAL	Einbindung von Sorptionsprozessen in Transportprogramme für die Langzeitsicherheitsanalyse
ETSON	European Technical Safety Organisations Network, Europäisches TSO Netzwerk
EU	Europäische Union
EURATOM	European Atomic Energy Community, europäische Atomgemeinschaft
EZ	Ministerie van Economische Zaken/Ministerium für Wirtschaft, Niederlande
FANR	Aufsichtsbehörde der Vereinigten Arabischen Emirate
FD	Frischdampf
Fe-55	Eisen-55
FEP	Features, Events and Processes
F+E	Forschung und Entwicklung
FORGE	Fate of Repository Gases, EU-Projekt
FRM-2	Forschungsreaktor München-2, Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz der TU München
FSA	Frischdampf-Sicherheits- und Absperrarmaturen
G8GP	Globale Partnerschaft gegen die Verbreitung von Massenvernichtungswaffen und -materialien
GDA	Generic Design Assessment

Abkürzung	Erläuterung
GeoSys	Geothermale Systemanalyse
GFZ	Deutsches Geoforschungszentrum, Potsdam
GIDAS	German In-Depth Accident Study, Projekt zur Erhebung von Unfalldaten in Deutschland
GIF	Generation IV International Forum, Verbund zur Erforschung und Entwicklung zukünftiger KKW
GNS	Gesellschaft für Nuklear-Service mbH
GNSSN	Global Nuclear Safety and Security Network
GO-ARTM	grafische Bedienoberfläche von ARTM
GP	Global Partnership, Programm der G8-Mitgliedstaaten
GPR	Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires, ständige Expertengruppe für Kernreaktoren in Frankreich, vergleichbar mit der RSK
GVA	Gemeinsam Verursachte Ausfälle
HETI	Human Environment and Transport Inspectorate, Niederlande oder ILT
HSE	Health and Safety Executive, Aufsichts- und Genehmigungsbehörde Großbritannien
HSE/ONR	Health and Safety Executive, Office of Nuclear Regulation, Agentur für Atomaufsicht der HSE
HZDR	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation
IDPSA	integrale deterministisch-probabilistische Sicherheitsanalyse
IEC	International Electrotechnical Commission
IFF	Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
INES	International Nuclear and Radiological Event Scale, internationaler Bewertungsmaßstab für sogenannte „Ereignisse“ in kerntechnischen Anlagen
INPRO	International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles, IAEO Projekt zu innovativen Reaktoren und Brennstoffkreisläufen
INSAG	International Nuclear Safety Group, Expertengruppe der IAEO
INSC	Instrument for Nuclear Safety Cooperation, Programm der EU-Kommission zur Förderung der nuklearen Sicherheit weltweit
IPEN	International POPs Elimination Network, internationale Nichtregierungsorganisation zur Vermeidung von langlebigen organischen Schadstoffen
IPP	Das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Technische Sicherheitsorganisation Frankreichs
ISF	Interim Spent Fuel Storage Facility, Trockenlager für Brennelemente am KKW-Standort Tschernobyl
ISO	International Organization for Standardization, Internationale Normungorganisation
ISOE	Information System on Occupational Exposure
ISTec	Institut für Sicherheitstechnologie GmbH
IT	Informationstechnik
ITER	International Thermonuclear Experimental Reactor
JASMIN	EU-Vorhaben, in dem ASTEC für natriumgekühlte Reaktoren der Generation IV ertüchtigt werden soll

Abkürzung	Erläuterung
JC	Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management
JET	Joint European Torus
JNES	Japan Nuclear Energy Safety Organization, Technische Sicherheitsorganisation Japans
JNRC	Jordan Nuclear Regulatory Commission, Jordanische Aufsichtsbehörde
JRC	Joint Research Center, Wissenschaftsservice der Europäischen Kommission
KENOREST	Reaktivitäts- und Nuklidinventarprogramm
KFD	Kernfysischer Dienst, Aufsichtsbehörde Niederlande
KINS	koreanischen Institut für nukleare Sicherheit
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KKW	Kernkraftwerk
km/h	Kilometer pro Stunde
KTA	Kerntechnischer Ausschuss
LEI	Lietuvos energetikos institutas, Technische Sicherheitsorganisation Litauens
LIZ	Lage- und Informationszentrum zur Kernenergie
LSA	low specific activity, Deklaration radioaktiver Stoffe beim Transport
L RTP	Liquid Radwaste Treatment Plant, Gebäude zur Behandlung von flüssigem radioaktiven Abfall
MDEP	Multinational Design Evaluation Programme, internat. Initiative von Aufsichts- und Genehmigungsbehörden zum Austausch über neue Reaktorkonzepte
MELCOR	integraler Simulationscode
MEZ	Mitteuropäische Zeit
mph	Miles per hour, Meilen pro Stunde
NAGRA	"Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz"
NAWAK	Projekt zur Entwicklung nachhaltiger Anpassungsstrategien für die Wasserwirtschaft
Ni-63	Nickel-63
NLWKN	Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küste- und Naturschutz
NORM	Naturally Occurring Radioactive Material, natürlich vorkommende radioaktive Stoffe
NPS	Nuclear Power Station, Kernkraftwerk
NSC	New Safe Confinement, Schutzhülle um den bestehenden Sarkophag in Tschernobyl
NUREG	Broschürenreihe der U.S. NRC zur nuklearen Sicherheit
OECD/NEA	Organisation for Economic Co-operation and Development/Nuclear Energy Agency, Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung/Kernenergieagentur
OOWV	Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband
ORNL	Oak Ridge National Laboratory, US-Forschungseinrichtung
PEBS	Long-Term Performance of Engineered Barrier Systems
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
PSÜ	Periodische Sicherheitsüberprüfung
RDB	Reaktordruckbehälter

Abkürzung	Erläuterung
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances, Europäische Chemikalienverordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe
RegNet	Regulatory Network
RESA	Reaktorschnellabschaltung
ReVK	Reststofffluss-Verfolgungs- und Kontrollsystem
RIC	Regulatory Information Conference
RIDM	Risk-informed decision-making
RSK	Reaktor-Sicherheitskommission
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
SARNET 2	Severe Accident Research NETWORK of Excellence, Europäisches Exzellenznetzwerk zur Erforschung schwerer Unfälle
SCALE	System for Criticality Analysis in Licensing Evaluations
SfH	Störfallhandbuch
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)
SNE-TP	Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, EU-weiter Zusammenschluss von Interessensgruppen zum Thema "Energemix 2050"
SEC NRS	Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety, Russische TSO
STC	Scientific and Technical Committee der EURATOM Vereinigung
SVV	Selbstverheilender Salzversatz
TACIS	Technical Assistance to the Commonwealth of Independent States, früheres Finanzierungsinstrumentarium der EU
TEPCO	Tokyo Electric Power Company, Stromversorger und KKW-Betreiber, Japan
THAI	Thermalhydraulics, Hydrogen, Aerosols und Iodine, THAI-Versuchsanlage für die Durchführung von Reaktorsicherheits-Experimenten im technischen Maßstab
TOUGH2	Transport of Unsaturated Groundwater and Heat, Rechenprogramm zur Modellierung des Transports von Radionukliden durch Gestein in Lösungen und Gasen
TSO	Technische Sicherheitsorganisation
TU	Technische Universität
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UK	United Kingdom, Vereinigtes Königreich
U.S. NRC	Nuclear Regulatory Commission, Aufsichts- und Genehmigungsbehörde der USA
UJV	Ústav jaderného výzkumu ež a.s., Technische Sicherheitsorganisation Tschechiens
UNEP	United Nations Environment Programme, Umweltprogramm der Vereinten Nationen
USA/US	United States of America, Vereinigte Staaten von Amerika
USPU IZOTOP	Ukrainisches Staatsunternehmen
VARANS	Vietnam Agency for Radiation and Nuclear Safety & Control, Vietnamesische Aufsichtsbehörde
VBL	Versorgungsanstalt des Bundes und der Länder
VDI/VDE	Verband Deutscher Ingenieure/Verband der Elektrotechnik

Abkürzung	Erläuterung
VGB	Verband deutscher Großkraftwerksbetreiber
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerium für Wohnungswesen, Raumordnung und Umweltschutz der Niederlande
VTT	VTT Technische Forschungsorganisation, TSO Finnlands
VSG	Vorläufige Sicherheitsanalyse Gorleben
VUJE	Technische Sicherheitsorganisation der Slowakai
WDR	Westdeutscher Rundfunk
WEIMAR	Weiterentwicklung des Smart Kd-Konzepts für Langzeitsicherheitsanalysen
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association, EU-weiter Zusammenschluss der Aufsichtsbehörden
WGRNR	Working Group on the Regulation of New Reactors, Arbeitsgruppe der OECD/NEA zu Standortauswahl, Bau und Lizenzierung von neuen Reaktoren der Generation III+ und IV
WINO	Forschungsvorhaben zum Aufbau einer Wissensbasis für Stör- und Unfälle in ausländischen Kernkraftwerken
WKA/CMS	Windkraftanlagen Condition Monitoring System
WLN	Weiterleitungsnachricht
XSUSA	Cross Section Uncertainty and Sensitivity Analysis, Programm zur Durchführung von Unsicherheitsanalysen für alle Arten von nuklearen Berechnungen

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

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