

**Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft**

**PTE-S Nr. 9**

Halbjahresbericht über den Stand der  
BMBF-Stillegungsprojekte  
und der vom BMBF geförderten FuE-Arbeiten zu  
„Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“

**Berichtszeitraum: 01. Juli - 31. Dezember 2004**

Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe  
Bereich Wassertechnologie und Entsorgung  
im Auftrag des  
Bundesministeriums für Bildung und Forschung

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
März 2005**



## **PTE-S Berichte**

Der vorliegende Halbjahresbericht unterrichtet die Beteiligten an den Stilllegungsarbeiten, die aus dem BMBF-Titel „Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Versuchs- und Demonstrationsanlagen“ finanziert werden, weiter die im Rahmen des Förderkonzepts „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“ FuE-Arbeiten durchführenden Forschungsstellen, sowie zuständige Behörden. Eine Weitergabe des Berichtes oder seines Inhaltes an Dritte bedarf der Zustimmung des Projektträgers des BMBF.

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren bzw. die entsprechenden Forschungsstellen. Die Forschungszentrum Karlsruhe GmbH übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.



## Vorwort

Die Forschungszentrum Karlsruhe GmbH ist im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) sowie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) Projektträger für den Programmbereich „Entsorgung“.

Dieser Auftrag umfasst die Förderkonzepte „Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen“ und „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“. Im Rahmen dieses Auftrages betreut der Projektträger WTE u. a. für BMBF, Referat 413, die FuE-Vorhaben zu Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen.

Der vorliegende Fortschrittsbericht dokumentiert Stand und Ergebnisse dieser FuE-Vorhaben und darüber hinaus der Stilllegungsprojekte, die aus dem im Geschäftsbereich des BMBF befindlichen Stilllegungstitel finanziert werden. Er wird von WTE *halbjährlich* herausgegeben, um den auf der vorangehenden Seite genannten Personenkreis über die durchgeführten Arbeiten zu informieren.

Der Bericht ist folgendermaßen aufgebaut:

**Teil 1** stellt die **Stilllegungsprojekte** des BMBF in Form von formalisierten Zwischenberichten dar und zwar

- die Projekte MERLIN und AVR am Standort Jülich
- die Projekte des HDB, KNK, MZFR und WAK am Standort Karlsruhe
- die Restabwicklung des THTR 300
- die Verfüllung der Südflanke der Schachanlage Asse
- die Stilllegung des Forschungsreaktors TRIGA Heidelberg II
- Projekt MAREN bei GKSS.

Der Stilllegungszustand des BER I am HMI ist seit 1974 unverändert. Daher entfällt die zuletzt in PTE-S Nr. 3 erfolgte Darstellung.

**Teil 2** behandelt die **FuE-Vorhaben** des Förderkonzepts „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“, gliedert nach

- Liste der Fördervorhaben,
- formalisierte Zwischenberichte, geordnet nach Förderkennzeichen,
- ausführenden Forschungsstellen.

Da Referat 413 eine koordinierende Zuständigkeit für Strahlenforschung übertragen bekam, werden seit 2002 auch **Strahlenforschungsvorhaben** gefördert. Diese sind ebenfalls in Teil 2 aufgeführt.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Stilllegungsprojekte des BMBF .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 FZ Jülich.....</b>	<b>1</b>
Merlin.....	2
AVR .....	4
<b>1.2 FZ Karlsruhe.....</b>	<b>7</b>
HDB .....	8
KNK .....	10
MZFR.....	12
WAK.....	14
<b>1.3 THTR 300 .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Schachtanlage Asse.....</b>	<b>21</b>
<b>1.5 TRIGA Heidelberg II .....</b>	<b>25</b>
<b>1.5 Projekt MAREN bei GKSS.....</b>	<b>29</b>
<b>2 FuE-Vorhaben „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“ .....</b>	<b>33</b>
<b>2.1 Fördervorhaben .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2 Formalisierte Zwischenberichte .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3 Ausführende Forschungsstellen .....</b>	<b>99</b>



# **1 Stilllegungsprojekte des BMBF**

## **1.1 FZ Jülich**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Jülich GmbH, Postfach 36 40, 76021 Jülich	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung und Abbau des Forschungsreaktors FRJ-1 (MERLIN)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1996 bis 2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 24,22 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Stahn

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Beim Forschungsreaktor FRJ-1 (MERLIN) handelte es sich um einen mit Leichtwasser moderierten und gekühlten Schwimmbad-Reaktor britischer Bauart. Er wurde von 1958 bis 1962 auf dem Gelände des Forschungszentrums errichtet. Seit 1964 wurde er zur Durchführung von Experimenten betrieben.

Nach ca. 21 Betriebsjahren wurde der Forschungsreaktor 1985 endgültig abgeschaltet und in den Stillstandsbetrieb überführt. Noch im gleichen Jahr wurden die Brennelemente aus der Anlage entfernt und nach einer Zwischenlagerung zur Wiederaufarbeitung verbracht.

Mit der kontinuierlichen Planung und Ausführung entscheidender Abbautätigkeiten wurde erst 1996 begonnen. Der Rückbau der Anlage erfolgt auf der Basis mehrerer Teilgenehmigungen, die inhaltlich im wesentlichen wie folgt abgegrenzt sind:

1. Abbau der Kühlkreisläufe und Experimentiereinrichtungen
2. Ausbau der Reaktorankeimbauten
3. Abbau des Reaktorblocks
4. Freimessung und Freigabe der Reaktorhalle

Die Rückbauarbeiten, die sich aus den Positionen 1. und 3. ergeben, sind vollständig abgeschlossen.

### 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Im ersten Halbjahr 2004 wurden insbesondere Resttätigkeiten durchgeführt, die dem Abbau des Reaktor- und Absetzblocks zuzuordnen sind, bzw. der Vorbereitung der Reaktorhalle auf die anstehenden Dekontaminations- und Freisetztätigkeiten dienen. Unterteilt in diese beiden Kategorien sind die nachfolgend genannten wesentlichen Tätigkeiten im Berichtszeitraum durchgeführt worden:

#### Resttätigkeiten zum Abbau des Reaktor- und Absetzblocks

- Aufräumarbeiten.
- Abgabe von kontaminierten Abfällen aus dem Rückbau des Reaktor- und Absetzblocks zur weiteren Konditionierung an die Abteilung Dekontamination.\*
- Absicherung der entstandenen Bodendurchbrüche (insbesondere ehemaliger Standort des Reaktorblocks) gegen Absturz.

\*) Die Tätigkeiten wurden zwischenzeitlich aus finanziellen Gründen eingestellt und auf einen unbestimmten Zeitpunkt verschoben.

#### Vorbereitungsmaßnahmen für die Freimessung und Freigabe der Reaktorhalle

- Durchführung von Kernbohrungen im Bodenbereich zwischen Experimentier- und Zwischenebene zur Entsorgung der letzten rudimentären Teile der Vor- und Rücklaufleitungen des Primär-Hauptkühlsystems (letzte gebäudegebundenen Komponenten mit höherer Kontamination).

- Planung des Abbaus des Abwasser- und Sumpfsystems unter Berücksichtigung von Provisorien für die Aufnahme noch anfallenden Restwassers durch Reinigungs- und Dekontaminationsmaßnahmen.
- Abschluss der Bestandsaufnahme und der Planungstätigkeiten für den Rückbau und den Einsatz von Provisorien bei den elektrotechnischen Versorgungseinrichtungen.
- Beginn mit dem Rückbau der elektrotechnischen Versorgungseinrichtungen und der Montage von Provisorien (z. B. Notbeleuchtung, Baustellenbeleuchtung, Baustromversorgung).\*
- Beginn mit Planungstätigkeiten für den Um- und Rückbau der restlichen Komponenten des Reaktorschuttsystems einschließlich der Warn- und Fernüberwachungseinrichtungen, speziell im Bereich der Reaktorwarte und des Rangierverteilers.\*
- Auftragsvergabe für den Abbau von Stapelsteinabschirmwänden im Erdgeschoss der Reaktorhalle.\*

\*) Die Tätigkeiten wurden zwischenzeitlich aus finanziellen Gründen eingestellt und auf einen unbestimmten Zeitpunkt verschoben.

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen, dass eine Reihe von bereits begonnenen Tätigkeiten, und hier speziell Tätigkeiten, die der Vorbereitung der Reaktorhalle auf die anstehenden Dekontaminations- und Freimesstätigkeiten dienen sollten, zwar begonnen, aber aus finanziellen Gründen wieder eingestellt werden mussten. Mit den ebenfalls geplanten Dekontaminationsmaßnahmen für bereits frei geräumte Gebäudebereiche wurde aus dem gleichen Grund gar nicht erst begonnen.

Bezüglich des Genehmigungsantrages für die Freimessung der Reaktorhalle mit anschließender Entlassung aus dem AtG wurde im Februar 2004 der Sicherheitsbericht insbesondere um die Antragsunterlagen zur Qualifizierung des In-situ-Messverfahrens ergänzt. Die vierte Teilgenehmigung zur Freimessung und Freigabe der Reaktorhalle lag bis zum Ende des Berichtszeitraums noch nicht vor.

### 3. Geplante Weiterarbeit

Die Arbeiten werden im Rahmen der vorhandenen finanziellen Mittelausstattung fortgeführt. Bereits eingestellte Arbeiten werden bei Vorliegen einer ausreichenden Mitteldeckung wieder aufgenommen.

Nach Vorliegen der Genehmigung zur Freimessung und Freigabe der Reaktorhalle werden die entsprechenden Detailplanungstätigkeiten aufgenommen und die erforderlichen Ausschreibungsunterlagen vorbereitet. Die Ausschreibungen selbst werden jedoch erst nach ausreichender Mittelbereitstellung stattfinden können.

### 4. Erfindungen, Verbesserungen, Schutzrechte, Berichte, Veröffentlichungen, Internationales

Sachstandsberichte an BMBF (Bund) und MSWWF (Land).

B.Stahn, R.Printz, K.Matela, C.Zehbe, J.Pöppinghaus, J.Cremer: Research Reactor FRJ-1 (MERLIN) – The Core Structures of the Reactor Block are Dismantled; WM'04 Conference, 29.02.-04.03.2004, Tucson AZ

B.Stahn, R.Printz, K.Matela, C.Zehbe, J.Pöppinghaus, J.Cremer: Forschungsreaktor FRJ-1 (MERLIN) – Das Hauptaktivitätsinventar ist durch erfolgreichen Rückbau des Reaktorblocks entfernt; Internationale Zeitschrift für Kernenergie (atw), Ausgabe Februar 2004

### 5. Kosten

Kosten bisher (von 1996 bis 2003):	18,67 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum (Ansatz 2004):	
- geplant (beantragt):	2,80 Mio. €
- verfügbar (bewilligt):	1,07 Mio. €
Zukünftige Kosten:	5,28 Mio. €
(bei rechtzeitiger Bereitstellung der erforderlichen Finanzmittel)	
Geldgeber:	Bund 90 %, Land 10 %

Finanzengpässe der Geldgeber führen zur Verlängerung der Rückbaudauer, was wiederum zusätzliche Kosten verursacht, deren Höhe derzeit nicht abschätzbar ist.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> AVR GmbH, Postfach 36 40, 76021 Jülich	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Vollständiger Abbau des AVR	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1987 bis 2012	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 398,7 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Rittscher

## 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Der Versuchsreaktor AVR ist ein heliumgekühlter graphitmoderierter Hochtemperaturreaktor mit kugelförmigen Brennelementen ("Kugelhaufenreaktor"). Der Reaktor war die erste ausschließlich in der Bundesrepublik Deutschland entwickelte Kernkraftanlage. Seine thermische Leistung betrug 46 MW, die elektrische Bruttoleistung 15 MW. Aufgabe der Anlage war es, den sicheren Betrieb und die Verfügbarkeit dieses neuen Reaktortyps zu demonstrieren, Komponenten und insbesondere HTR-Brennelemente zu erproben sowie reaktortypbezogene Experimente durchzuführen. Der Standort des Reaktors grenzt unmittelbar an das Gelände des Forschungszentrums Jülich (FZJ). Nach 21 Betriebsjahren wurde die Anlage Ende 1988 abgeschaltet. Zwischenzeitlich sind die Brennelemente aus der Anlage entfernt und ein Großteil der Einbauten demontiert. Nach der jetzigen Planung soll die Kraftwerksanlage vollständig zurückgebaut werden, nachdem der Reaktorbehälter als Ganzes gezogen und außerhalb der Anlage bis zu seiner späteren Zerlegung zwischengelagert worden ist.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Im Berichtszeitraum wurde die Demontage von Reaktorhilfssystemen im Schutzbehälter fortgeführt. Die obersten Bühnen wurden als Vorbereitung auf die geplanten Änderungen am oberen Schutzbehälter weiter frei geräumt. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag aber auf dem Abbau von Komponenten der Brennelement-Beschickungsanlage, da auch die Bereiche unterhalb des Reaktorbehälters für die kommenden Vorhaben weitgehend frei geräumt werden müssen.

Der endgültige Antrag zur 5. Ergänzung der bestehenden Stilllegungsgenehmigung zum Bau einer Materialschleuse, eines neuen Materialtransportweges und neuer Lüftungsanlagen, der um das Verfüllen des Reaktorbehälters mit Porenleichtbeton und den Bau einer Stützkonstruktion für den Reaktor- und den Schutzbehälter erweitert worden war, wurde im August eingereicht und die Genehmigung im November erteilt. Mit den Fundamentarbeiten der Materialschleuse wurde noch im Berichtszeitraum begonnen.

Der Betrieb der Restanlagen einschließlich des Messprogramms zur Überwachung der Bodenkontamination des Anlagengeländes verlief im Berichtszeitraum ohne Besonderheiten. Die Änderungsarbeiten und Neuinstallationen zur Fernüberwachung der Anlage nach dem Wegfall des Wechselschichtdienstes konnten noch nicht fertig gestellt werden.

### 3. Geplante Weiterarbeit

- Weiterbau der Materialschleuse
- Weiterführung der Demontagearbeiten der elektro- und verfahrenstechnischen Anlagenteile im Schutzbehälter
- Fertigstellung der Einrichtungen zur Fernüberwachung der Anlage
- Weiterplanung der Verfüllung mit Porenleichtbeton
- Planung des Abbaus der Zugabewand der Beschickungsanlage

### 4. Erfindungen, Verbesserungen, Schutzrechte, Berichte, Veröffentlichungen, Internationales

Keine zitierfähigen Berichte bzw. Publikationen.

### 5. Kosten

Kosten bisher (von 1987 bis 2003):	202,3 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum (2004):	15,6 Mio. €
Zukünftige Kosten:	<u>180,8 Mio. €</u>
	398,7 Mio.

Geldgeber:	Bund 90 %, Land 10 % (bis 31.03.2003)
	Bund 70 %, Land 30 % (ab 01.04.2003)



## **1.2 FZ Karlsruhe**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung von Teilanlagen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1994 bis 2030	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 113 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Funk

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) ist dem Geschäftsbereich Stilllegung nuklearer Anlagen des Forschungszentrums Karlsruhe GmbH zugeordnet. Ihre Aufgabe ist die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und Reststoffen des Forschungszentrums sowie der am Standort vorhandenen Einrichtungen und Anlagen:

- Betriebsabfälle und Reststoffe aus dem Rückbau der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK)
- Abfälle des Europäischen Instituts für Transurane (ITU)
- Betriebsabfälle und Reststoffe aus dem Rückbau der Reaktoren MZFR und KNK
- Landessammelstelle Baden-Württemberg (LSSStBW)

Dementsprechend orientieren sich die technische Auslegung sowie die zugehörigen Genehmigungen in erster Linie an den standortbezogenen Entsorgungsaufgaben. Darüber hinaus erbringt die HDB im Rahmen freier Kapazitäten Konditionierungsleistungen für Dritte.

Gegenwärtig werden von der HDB folgende Anlagen betrieben:

- LAW-Eindampfung
- Zementierung
- LAW-Verschrottung
- MAW-Verschrottung
- Geräte-Dekontamination
- Verbrennungsanlage
- Reststofflager
- Zwischenlager für wärmeentwickelnde und nicht wärmeentwickelnde Abfallgebände
- Freimesslabor
- Radiochemisches Labor.

Parallel zum Fortschritt der Rückbauarbeiten bei WAK, MZFR und KNK werden nicht mehr benötigte Anlagen der HDB bereits zurückgebaut. Die gesamte Anlage soll nach Erfüllung ihrer Aufgaben bis zum Jahre 2030 beseitigt werden.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

- MAW-Eindampfanlage, Bau 555  
Die weiteren Rückbaumaßnahmen sind vom Rückbau der alten LAW-Eindampfung (s. u.) abhängig.
- LAW-Eindampfungsanlage und Zementierung II, Bau 545  
Da an der Ende 2003 in Betrieb genommenen neuen Anlage Schäden aufgetreten sind, wird die alte Anlage im Jahr 2005 weiter genutzt. Die Rückbauarbeiten sind daher zurückgestellt worden.

## 3. Geplante Weiterarbeit

LAW-Eindampfung (Bau 545): Keine Aktivitäten (s. o.)

## 4. Erfindungen, Verbesserungen, Schutzrechte, Berichte, Veröffentlichungen, Internationales

keine

## 5. Kosten

Kosten bisher (von 1994 bis 30.06.2004):	11,84 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	0,12 Mio. €
Zukünftige Kosten:	101,04 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Land 10 %

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage (KNK)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1992 bis 2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 265,9 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Hillebrand

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Die Kompakte Natriumgekühlte Kernreaktoranlage KNK war ein Versuchskernkraftwerk mit 20 MW elektrischer Leistung auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe. Die Anlage wurde zunächst von 1971 bis 1974 mit einem thermischen Kern als KNK I und dann ab 1977 mit einem schnellen Kern als Schnellbrüterkraftwerk KNK II betrieben. Eigentümer der Anlage ist das Forschungszentrum Karlsruhe, Betreiber die Kernkraftwerk-Betriebsgesellschaft mbH (KBG).

Das Kühlsystem der KNK war in zwei Primär- und Sekundärkreisläufe aufgeteilt, die mittels Natrium die im Reaktor erzeugte Wärme an die tertiären Wasser-Dampf-Kreisläufe übertragen. Der dort erzeugte Dampf betrieb einen Turbogenerator.

Die KNK-Anlage wurde im August 1991 abgeschaltet. Das Stilllegungskonzept sieht vor, die Anlage in 10 Schritten gemäss dem folgenden Plan und entsprechend in 10 Stilllegungsgenehmigungen (SG) vollständig abzubauen (grüne Wiese):

1. Entsorgen der Brennelemente (Betriebs-Genehmigung)
2. Abbau des Tertiärsystems (1. SG)
3. Abbau des Objektschutzes (2. SG)
4. Entsorgung des Sekundärnatriums und Abbau der Blendenverstelleinrichtung (3. SG)
5. Entsorgung des Primärnatriums und Abbau der Wechselmaschine (4. SG)
6. Abbau der Sekundärsysteme (5. SG)
7. Umstellung der E-Versorgung und Abriss von Gebäuden (6. SG)
8. Verbleibende Arbeiten zum Abbau der Primärsysteme (7. SG)
9. Abbau der Primärsysteme (8. SG)
10. Ausbau Reaktortank und Abbau biologischer Schild (9. SG)
11. Abbau Hilfssysteme, Freimessen und Abriss der restlichen Gebäude bis zur „grünen Wiese“ (10. SG)

Die Rückbauarbeiten im Rahmen der ersten 8 Stilllegungsgenehmigungen sind vollständig abgeschlossen.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Im Rahmen der 9. SG wurde inzwischen mit den Demontearbeiten begonnen. Nach Abschluss der Kalten Inbetriebsetzung (IBS) wurde im Oktober mit der Heißen IBS begonnen und der Reaktorverschlussdeckel erstmalig geöffnet. Die bisherige Inertisierung des Reaktortanks über die betriebliche Stickstoffversorgung wurde abgeklemmt und auf die neue Lüftungs- und Inertisierungs-Anlage der Einhausung aufgelegt. Die Lüftung wurde eingeregelt und abgenommen.

Das Zerlegewerkzeug wurde in den Reaktortank eingefahren und verspannt. Mit den Zerlegearbeiten wurde im November im oberen Plenum des Reaktortanks begonnen. Zuerst wurde das Natrium aus den Notkühlleitungen und dem Notüberlauf herausgefräst; anschließend wurde mit dem Abfräsen der Stützen begonnen.

Der Antrag zur 10. und letzten Stilllegungsgenehmigung (Rückbau der Waschanlage, des Lüftungs- und Abwassersystems, Freimessung und Gebäudeabriss) wurde mit Datum vom 22.06.2001 gestellt, allerdings muss der Sicherheitsbericht insbesondere wegen der Belange der neuen Strahlenschutzverordnung noch einmal überarbeitet werden.

Für die Rückholung der 7 Kühlfallen von HDB zum Zerlegen und Waschen in der KNK wurde mit Datum vom 11.03.2004 ein Genehmigungsantrag nach §7 (3) AtG bei der Behörde eingereicht. Das TÜV-Gutachten wird Anfang 2005 erwartet.

Die Ausführungsplanung des Generalunternehmers musste als Auswirkung des Lastabsturzes vom November 2001 neu überdacht werden. Außerdem kam es bei der Montage der Einhausung zu erheblichen Anfangsschwierigkeiten. Die Dauer für die Funktionstests und Inbetriebsetzung der Komponenten wurde ebenfalls unterschätzt, so dass ein Terminverzug von 26 Monaten auf den Meilenstein „Beginn der Demontage“ entstanden ist. Der Meilenstein „Ende der Demontage“ wurde außerdem um zusätzliche 7 Monate verlängert, da die Zerlegung nicht wie vorgesehen in 8 Monaten durchführbar ist. Der bisherige Endtermin (Dezember 2007) muss nach Vorliegen des neuen Terminplans für die 9. SG überarbeitet werden.

## 3. Geplante Weiterarbeit

9. SG: (Demontage Reaktortank/Bioschild): Fortsetzung Demontage Reaktortank mit der Dem. des oberen Thermoschockblechs mit Austrittsstützen sowie des Reflektors/Thermischen Schilds; Abschluss Entwurfsplanung Abbau Primärschildschirmung und Bioschild.
10. SG: Revision Sicherheitsbericht.
- Kühlfallen: Erteilung Genehmigung; Freigabe Ausführungsbeschreibung; Beschaffung der Hardware.

## 4. Erfindungen, Verbesserungen, Schutzrechte, Berichte, Veröffentlichungen, Internationales

keine

## 5. Kosten

Kosten bisher (von 1992 bis 30.06.2004):	209,6 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	9,0 Mio. €
Zukünftige Kosten:	47,3 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Land 10 %

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung des Mehrzweck-Forschungsreaktors MZFR	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1985 bis 2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 285,5 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Eisenmann

## 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Der Mehrzweckforschungsreaktor im Forschungszentrum Karlsruhe war ein schwerwassergekühlter und -moderierter Druckwasser-Reaktor. Von 1965 bis 1984 diente er u. a. als Testreaktor zur Entwicklung von Schwerwasser-Kernkraftwerken und zur Erprobung von Brennelementen. Neben der Stromerzeugung diente ein Teil der erzeugten Wärme zur Gebäudeheizung. Nach der Abschaltung 1984 wurden die Brennelemente entladen und das Schwerwasser aus der Anlage entfernt. Mit der eigentlichen Stilllegung wurde 1985 begonnen.

Das Stilllegungskonzept sieht die Beseitigung in den folgenden acht Schritten vor, die mit Teilgenehmigungen (TSG) abgewickelt werden:

- 1./2. Außerbetriebnahme aller nicht benötigten Systeme, Trocknung aller D<sub>2</sub>O-Systeme, Reduzierung der weiterhin benötigten Hilfsanlagen, Abbau der Heizwasserversorgung
3. Demontage der Kraftwerksanlage, der Abwasseraufbereitung, der Notstromanlage und Abriss der Kühltürme
4. Demontage der Reaktorhilfssysteme, Abbau des Sekundärsystems im Reaktorgebäude, Dekontamination des Primärsystems
5. Abbau der Zaunanlage
6. Demontage des Primärsystems und der Reaktorsysteme im Reaktorgebäude
7. Fernbediente Demontage des Reaktordruckbehälters mit Einbauten
8. Dekontamination und Abriss der Gebäude.

Die ersten 6 Schritte sind abgeschlossen.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Im Rahmen der Nasszerlegung (7. SG) sind die Erprobungen sowohl am Teststand bei VAK in Kahl als auch am Institut für Werkstoffkunde (IW) der Universität Hannover abgeschlossen. Die Erprobung des zusätzlichen Unterwasser-Trennschleifers mit seiner Einhängekonstruktion am Modell des unteren Schusses des Thermischen Schildes zur Trennung des Bereiches von ca. 110 - 130 mm verläuft Erfolg versprechend.

Die Montage der Nasszerlegeeinrichtungen am MZFR wurde abgeschlossen. Nach der erfolgreich abgeschlossenen Inbetriebsetzung der Systeme und Einrichtungen im Beisein des Gutachters wurden die Zerlegearbeiten am Moderatorbehälter begonnen. Im Berichtszeitraum wurden folgende Arbeiten durchgeführt: Weitere Modifikationen aus den Erfahrungen bei Inbetriebsetzung und Erprobung, Zerlegung des oberen gewölbten Teils des Moderatorbehälters („Oberer Klöpferboden“) inkl. Abschirmplatten und Vielwegeventil, Zerlegung der verbliebenen Kühlkanäle, Optimierung der Zerlege- und Hantierungsprozesse sowie Reinigen der Klöpferböden des Moderator-

behälters.

Die Zerlegung des Moderatorbehälters wurde durch verschiedene Ereignisse und Abweichungen erschwert, u. a. durch fünf noch vorhandene Kühlkanäle, die im Zerlegeschritt „Ausbau der stabförmigen RDB-Einbauten“ nicht gezogen werden konnten. Weitere Erschwernisse waren Sichtbehinderungen durch feinstkörnige Sedimente/ Ablagerungen (=Rückstände aus dem Reaktorbetrieb) sowie die Demontage zusätzlicher nicht dokumentierter Komponenten (u. a. Drahtseile).

Die qualifizierten Zerlegeverfahren zur Unterwasserzerlegung haben sich bewährt, die Plasma-Schneidanlage arbeitet sehr effizient. Hierdurch werden aufgetretene technische Schwierigkeiten sicher beherrscht. Jedoch sind terminliche Auswirkungen nicht zu vermeiden. Möglichkeiten zur Kompensation von Verzögerungen werden zur Zeit untersucht.

Die Planungen des letzten Schrittes der 7. SG, die Trockenzerlegung Teil 3, der die Zerlegung der unteren Füllkörper und des Reaktordruckgefäßes mit seiner mehrlagig aufgebauten Isolierung beinhaltet, wurden fortgeführt. Das Zerlegekonzept wurde dem Gutachter und der Aufsichtsbehörde vorgestellt und Detailfragen zur geplanten Durchführung erläutert. Die Demontage der RDB-Isolierung wird in einem Teststand erprobt werden. Die Planung des für die Isolierungsdemontage erforderlichen Werkzeugträgers wird derzeit abgestimmt.

In Folge von umfangreichen Verbesserungen der Steuerung des Werkzeugträgers im Rahmen der Nasszerlegung sowie der Optimierung der Plasmaschneidanlage und den daraus resultierenden weiteren Testläufen und Verifizierungen war es zu Verzögerungen von ca. 3 Monaten bei der Erprobung der Nasszerlegeeinrichtungen gekommen, die voraussichtlich teilweise kompensierbar sein werden.

Auf Grund der Finanzmittelsituation 2004 mussten die Planungsarbeiten zur 8. SG gestoppt werden, um die Planziele der 7. SG erreichen zu können, und sich auf das zur Genehmigung unumgängliche Maß beschränken. Dies führt zu Verzögerungen ab 2006 ff. Die Revision 2 der Antragsunterlagen der 8. SG wurde mit Behörde und Gutachter besprochen. Der Gutachtensentwurf zum 8. Stilllegungsschritt wird Anfang 2005 erwartet.

Der Abschluss des Projektes wird in 2009 erwartet. Dies ist bedingt durch die erheblich zeitaufwändigere Zerlegung des Reaktordruckbehälters, was wiederum Zeitverzögerungen bei anderen im Rahmen der 7. SG zu erbringenden Leistungen bewirkt. Auf Grund der Finanzmittelsituation in 2004 und 2005 sind weitere Terminverschiebungen wegen der verschobenen Planungsarbeiten zur 8. SG nicht auszuschließen.

### **3. Geplante Weiterarbeit**

- 7. SG: (Zerlegung RDB mit Einbauten): Fortsetzung Zerlegung Moderatorbehälter, Erprobung zusätzlicher Unterwassertrennschleifer, Revision Betriebshandbuch; Inbetriebnahme Teststand zur TZ3
- 8. SG: (Rückbau des aktivierten Teils des Biologischen Schildes, Dekont. und Abriss Gebäude): Bis auf die Bearbeitung des Gutachtens aufgrund der Mittelsituation keine weiterführenden Maßnahmen.

### **4. Erfindungen, Verbesserungen, Schutzrechte, Berichte, Veröffentlichungen, Internationales**

keine

### **5. Kosten**

Kosten bisher (von 1985 bis 30.06.2004):	216,3 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	6,3 Mio. €
Zukünftige Kosten:	62,9 Mio. €
Geldgeber:	Bund 100 %

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung und Rückbau der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 31.07.1991 bis 31.12.2013	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 1.928,5 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dr. Katzenmeier (Rückb.); Dr. Fleisch (VEK)

## 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe wurde von 1967 bis 1971 als Pilotanlage zur Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente auf dem Gelände des Forschungszentrums errichtet und dann von der WAK Betriebsgesellschaft mbH betrieben, die bis heute den Restbetrieb einschließlich der Lagerung der hochradioaktiven Spaltproduktlösungen (HAWC) und nun die Stilllegung und den Rückbau aller Einrichtungen und Anlagenteile auf dem WAK-Gelände durchführt. Die WAK wurde nach 20-jährigem Betrieb Mitte 1991 außer Betrieb genommen. In dieser Zeit waren 208 t Kernbrennstoffe bis zu einem maximalen Abbrand von 40 GWd/tU wiederaufgearbeitet worden. Für die Abwicklung des Gesamtprojektes Stilllegung und Rückbau WAK ist das Forschungszentrum verantwortlich. Der Rückbau mit dem Endziel „grüne Wiese“ ist in sechs Schritte aufgeteilt:

1. Deregulierungsmaßnahmen: Außerbetriebnahme funktionslos gewordener Verfahrensbereiche und Anpassung an den reduzierten Anlagenzustand (abgeschlossen).
2. Erste Rückbaumaßnahmen im Prozessgebäude: Demontage von Prozesssystemen ohne Fernhantierung, Außerbetriebnahme und Abbau bereits stillgelegter Anlagenteile (abgeschlossen)
3. Stufenweiser Rückbau aller Einrichtungen im Prozessgebäude unabhängig von der HAWC-Lagerung und Entsorgung mit dem Ziel der Aufhebung des Kontrollbereiches: Beginn mit der vorwiegend fernbedienten Ausräumung der Prozesszellen (in Arbeit), Auslagerung der Laboratorien aus dem Prozessgebäude (abgeschlossen), Entkopplung des HAWC-Reservelagers (HWL) vom Prozessgebäude (in Arbeit), Rückbau der Hilfs- und Nebeneinrichtungen incl. Barrieren, Feindekontamination und Freimessen aller Räume.
4. Deregulierung der HAWC-Lageranlagen (LAVA, HWL) und der Verglasungseinrichtung Karlsruhe (VEK) nach Abschluss der HAWC-Verglasung, s. u. (Konzeptplanung in Arbeit).
5. Rückbau aller Einrichtungen des HAWC-Lagerbereiches LAVA/HWL, der VEK und der restlichen Anlagen der WAK bis zur Kontrollbereichsauflösung (Konzeptplanung in Arbeit).
6. Konventioneller Abriss der Gebäude und der restlichen Anlagen nach Aufhebung der Kontroll- und Strahlenschutzbereiche sowie Rekultivierung des Geländes.

Als Voraussetzung zur Durchführung des Rückbaus der HAWC-Lager muss der noch in der LAVA lagernde HAWC entsorgt werden. Zur Beseitigung dieses flüssigen Abfalls (ca. 60 m<sup>3</sup> mit einem Aktivitätsinventar von 9\*10<sup>17</sup> Bq β-, γ-Strahler und 8\*10<sup>15</sup> Bq α-Strahler) wird vor Ort die Verglasungseinrichtung Karlsruhe (VEK) errichtet.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Im Projekt Rückbau WAK lag der Schwerpunkt der Arbeiten im Prozessgebäude (PG) weiterhin

auf dem Freischneiden von Betondurchführungen mit kontaminierten Rohrleitungen, dem großflächigen Wandabtrag sowie der Demontage von Kabeltrassen und Medienleitungen in Zellen und Betriebsräumen. Die Feindekontaminations-Arbeiten im Laboranbau sind nahezu abgeschlossen. Das Probenahme-Programm in allen Räumen des PG (Aktivität, Asbest, PCB) ist in Arbeit, der Umbau der Lüftungsanlage wird geplant. Die vorbereitenden Arbeiten zum Bau des HWL-Anbaus Süd (zur Erschließung des HAWC-Lagers HWL zum späteren Rückbau) sind abgeschlossen. Die technischen Einrichtungen im neuen Kontrollbereichszugang (Erweiterung LAVA-Sozialtrakt) wurden z. T. bereits in Betrieb genommen; das Chemikalienlager wurde abgebaut. Der Genehmigungsantrag für den fernbedienten Rückbau der HAWC-Lagerbehälter in HWL und LAVA nach Ende der Verglasung wurde eingereicht, ebenso der Antrag auf Aufhebung der Reservefunktion der HAWC-Behälter im HWL.

Die Montage der Verfahrenstechnik im Gebäude der VEK ist praktisch abgeschlossen. Die Inbetriebsetzung der Lüftungsanlage ist erfolgt. Das Prozessleitsystem wurde in Betrieb genommen. Die Dokumentation der Systeme läuft. Die Andockeinrichtung für den Transportbehälter wurde montiert; an Handmanipulatoren und Krananlagen wurden Prüfungen durchgeführt. Für die Begutachtung und Genehmigung der ersten Teilbetriebsgenehmigung wurden ergänzende Unterlagen erstellt. Alle fünf Transport- und Lagerbehälter vom Typ Castor HAW 20/28 CG wurden gefertigt und abgenommen.

### 3. Geplante Weiterarbeit

#### *WAK-Rückbau:*

Schritt 3: Restdemontage u. Dekontamination 1.OG/2.OG, Demontage „Waste-Brücke“; Fortsetzung Wandabtrag und Sägen der Beton-Durchführungsblöcke EG/1.OG/2.OG, Abtrennung Boden- und Wand-Liner, Ausbau Lüftungs-Leitungen, Kabel, Dübel u. a.;

Erweiterung LAVA-Sozialtrakt: Rest-Einrichtung, Abnahme und Inbetriebnahme;

Auslagerung Emissionsüberwachung u. Strahlenschutz aus dem PG: Aufbau und Einrichtung Container, Einbau/Inbetriebnahme Emissions-Messanlage.

Schritt 5: Errichtung Rohbau u. Innenausbau HWL-Anbau Süd, Genehmigung Demontage MAW-Behälter, Antrag Demontage HAWC-Behälter, Umbau HAW-Abwasserleitung; Demontage restliche Behälter ELMA, Geräteerprobung an ELMA-Betonwand und Behälter.

#### *VEK:*

Antragsunterlagen für 2. Teilbetriebsgenehm. (TBG): Begutachtung Betriebliche Regelungen;

Gutachten u. Genehmigung 1. und 2. TBG, Gutachten für Verfahrensqualifikation;

Restliche Montagen bei der Maschinen-, Verfahrens-, Elektro-, Leit- und Lüftungstechnik;

Kalte Inbetriebsetzung: Dokumentation, Funktionsprüfungen und Teil-Inbetriebsetzung; Ausbildung für die 1. TBG; Durchstrahlungsprüfungen in den Heißen Zellen;

Zwischenlagerung: Begutachtung Transportbereitstellung.

### 4. Erfindungen, Verbesserungen, Schutzrechte, Berichte, Veröffentlichungen, Internationales

keine

### 5. Kosten

Kosten bisher (von 01.07.1991 bis 30.06.2004):	1027,9 Mio. €
	77,0 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	823,6 Mio. €
Zukünftige Kosten:	WAK-Fonds 100 %,
Geldgeber:	danach Bund 91,8 %, Land 8,2 %



## **1.2 THTR 300**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Hochtemperatur-Kernkraftwerk GmbH, Siegenbeckstraße 10, 59071 Hamm	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Geordnete Restabwicklung des Projektes THTR 300	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1997 bis 2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 94,5 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dr. G. Dietrich

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Die Anlage THTR 300 war als Prototyp für Kernkraftwerke mit Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktor errichtet worden. Sie war ein mit Helium gekühlter grafitmoderierter Reaktor mit kugelförmigen keramischen Betriebs-elementen. Es handelte sich um eine Zweikreisanlage, bestehend aus einem Helium-Primärkühlkreislauf mit nachgeschaltetem Wasserdampfkreislauf und trockener Rückkühlung. Zum 1. September 1989 wurde der Beschluss zur Stilllegung der Anlage und Überführung in den sicheren Einschluss gefasst. In der Zeit von September 1989 bis September 1997 wurde das Genehmigungsverfahren zur Stilllegung, die Reaktorkernentladung und die Herstellung des sicheren Einschlusses durchgeführt. Zum 01.10.1997 wurde der Erhaltungsbetrieb der sicher eingeschlossenen Anlage THTR 300 aufgenommen.

Die sicher eingeschlossene Anlage THTR 300 besteht noch aus den Gebäuden

- Reaktorhalle
- Reaktorbetriebsgebäude
- Reaktorhilfsgebäude

mit den darin vorhandenen Anlagenteilen sowie

- dem Meldepult, aufgestellt beim Hauptpfortner des benachbarten Kraftwerkes Westfalen der RWE Power AG
- den Übertragungswegen für leittechnische Signale von den Gebäuden der sicher eingeschlossenen Anlage zum Meldepult
- der Tiefendrainage im Erdreich, außen um die Gebäude verlegt
- dem temporär einzurichtenden Umladebereich außerhalb der Gebäude für die Umladung von Transport- und Lagerbehältern

Alle übrigen baulichen Anlagen und Anlagenteile des Kernkraftwerkes THTR 300 wie das Maschinenhaus, das Elektroanlagegebäude, die Notstromdieselanlage, die Trafoanlagen, die Zellenkühltürme, die über- und unterirdischen Verbindungen u.s.w. wurden aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen. Die Brennelemente sind aus der Anlage THTR 300 abtransportiert worden. Lediglich innerhalb des Spannbetonreaktordruckbehälters befindet sich noch ein durch Entladung technisch nicht entfernbarer Rest von < 2,5 kg.

Es bestehen keine Anforderungen mehr auf Grund der nuklearen Sicherheit, des Reaktorbetriebes oder des Umganges mit Kernbrennstoffen. Alle während des Leistungsversuchsbetriebes druck- und aktivitätsführenden Anlagenteile sind drucklos, kalt und dauerhaft verschlossen, so dass auf Grund von betriebs- oder verfahrenstechnischen Bedingungen praktisch keine Möglichkeit mehr für eine Freisetzung radioaktiver Stoffe besteht. Da der Reaktorkern leer ist und die Brennelemente vom Standort entfernt sind, ist insbesondere Kritikalität ausgeschlossen. Die Rückhaltung radioaktiver Stoffe geschieht weitgehend passiv als sicherer Einschluss. Auch sind keine Sofortmaßnahmen mehr erforderlich, um die Rückhaltung radioaktiver Stoffe in der Anlage sicherzustellen.

Die Dauer des sicheren Einschlusses ist zunächst für 30 Jahre vorgesehen. 10 Jahre vorher ist die Entscheidung zu fällen, ob der sichere Einschluss vorgesetzt wird oder die sicher eingeschlossene Anlage THTR 300 entgültig beseitigt werden soll. Im Erhaltungsbetrieb werden Einrichtungen betrieben, die der Erhaltung und Überwachung des sicheren Einschlusses dienen. Er umfasst ständige und nichtständige Tätigkeiten und Maßnahmen.

Ständige Tätigkeiten oder Maßnahmen sind:

- die Unterdruckhaltung im ständigen Kontrollbereich
- die Trocknung der Luft im ständigen Kontrollbereich, so dass unzulässige Korrosionsschäden an den Anlagenteilen des sicheren Einschlusses vermieden werden
- die Überwachung der Fortluft im Zusammenhang mit der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft
- die Haltung des Schichtenwasserniveaus
- die Überwachung des Betriebes von Einrichtungen

Nichtständige Tätigkeiten oder Maßnahmen sind:

- die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen
- der Abbau von Anlagenteilen
- die Rücknahme von radioaktiven Abfällen, die aus der Anlage THTR 300 stammen
- die Lagerung von verpackten radioaktiven bearbeiteten und nicht bearbeiteten Abfällen oder Anlagenteilen, die aus der Anlage THTR 300 stammen
- die Umladung von Transport- und Lagerbehälter
- die Kontrolle des gesammelten Abwassers und seine Abgabe

Für diese Tätigkeiten sind gegebenenfalls Zustimmungen der Aufsichtsbehörde oder eventuell separate Genehmigungen einzuholen.

**2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum**

Das Berichtsjahr 2004 ist für die sicher eingeschlossene Anlage THTR 300:

das 15. Jahr nach der Abschaltung

das 9. Jahr nach der Beendigung der Entladung des Reaktorkerns

das 7. Jahr des sicheren Einschlusses

Die Verfügbarkeit der lufttechnischen Anlagen und der Fortluftbilanzierungseinrichtungen, für die eine Mindestverfügbarkeit mit der Genehmigung für den Erhaltungsbetrieb vorgegeben wurden, liegen weit über den geforderten Mindestwerten. Mit der Durchführung des Erhaltungsbetriebes sind zwei fest angestellte technische Mitarbeiter der HKG betraut.

Im Berichtsjahr 2004 war kein meldepflichtiges Ereignis zu verzeichnen.

2004 fiel in der sicher eingeschlossenen Anlage kein zu entsorgendes Abwasser an und somit trat auch keine Aktivitätsabgabe in die Umgebung über diesen Pfad ein. Die Aktivitätsableitungen mit der Fortluft sind im Vergleich mit dem Vorjahr praktisch konstant. Die genehmigten Ableitungsgrenzwerte wurden weit unterschritten.

Eine Belastung der Umgebung durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus der sicher eingeschlossenen Anlage THTR 300 fand – wie auch in den Vorjahren – praktisch nicht statt. Die Messergebnisse weisen im wesentlichen Werte unter der Nachweisgrenze aus.

Aus dem Überwachungsbereich wurden 3 Frischdampfarmaturen, 17 Armaturentriebe (AUMA) und 2 Absperrarmaturen ausgebaut, freigemessen und einer konventionellen Weiternutzung zugeführt.

Darüber hinaus konnten Kleinkomponenten (u. a. Dosierpumpen, Absperrventile etc.) einer Hochschule für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung gestellt werden.

Seit 1999 laufen im Brennelementzwischenlager Ahaus Nacharbeiten an den dort eingelagerten Castor THTR/AVR-Behältern zur Beseitigung von Korrosionsschäden.

**3. Geplante Weiterarbeit**

Für die kommenden Jahre sind weitere Ausbaumaßnahmen von Anlagenteilen, die für den Erhaltungsbetrieb oder für den späteren Abbau der Anlage THTR 300 nicht erforderlich sind, vorgesehen. Dies betrifft u. a. die Kälteanlagen, Armaturen, Pumpen, Motore und Messumformer. Teile des Geländes werden für eine anderweitige konventionelle Nutzung vorgesehen, sofern diese Aktivitäten rückwirkungsfrei auf die sicher eingeschlossene Anlage sind.

**4. Erfindungen, Verbesserungen, Schutzrechte, Berichte, Veröffentlichungen, Internationales**

keine

**5. Kosten**

Restmittel für die Projektlaufzeit:

63 Mio. €

Geldgeber:

Bund, Land NRW, Gesellschafter der HKG



### **1.3 SchachtanlageASSE**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, Ingolstädter Landstraße 1, 85764 Neuherberg	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Schließung der Schachtanlage Asse (ehemals: Fortsetzung der Verfüllung der Südflanke der Schachtanlage Asse)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1993 bis 2013	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 469,109 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Kappei

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Die während der Zeit der Salzgewinnung zwischen 1916 und 1964 im Jüngeren Steinsalz auf der Südflanke des Asse-Sattels entstandenen Abbaukammern zwischen der 750- und 490-m-Sohle haben nach der Einstellung der Einlagerung radioaktiver Abfälle Ende 1978 und der Beendigung der FuE-Arbeiten seit Mitte 1995 keine Verwendung mehr. Aufgrund von Empfehlungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe als Gutachter der Bergbehörde werden diese Hohlräume zur langfristigen Stabilisierung des Grubengebäudes seit August 1995 mit Rückstandssalz der Halde des ehemaligen Kalibergwerkes Ronnenberg bei Hannover verfüllt.

Für eine weitere Nutzung der noch verbleibenden Hohlräume in der Schachtanlage Asse, z. B. für die Durchführung von FuE-Arbeiten, besteht mittlerweile kein Bedarf mehr. Das bedeutet, dass die Schließung der Schachtanlage Asse herbeizuführen ist.

Die Schließung des Bergwerkes erfolgt auf der Grundlage des Bundesberggesetzes. Als Voraussetzung dafür ist dem Landesbergamt Clausthal-Zellerfeld ein Abschlussbetriebsplan vorzulegen, dem ein Sicherheitsbericht beizufügen ist, der den Nachweis der Langzeitsicherheit für die Anlage enthält. Sämtliche auf der Schachtanlage Asse noch durchzuführenden Arbeiten erfolgen im Rahmen einer Bundesbaumaßnahme. Deshalb wurde die bereits bestehende Baumaßnahme „Fortsetzung der Verfüllung der Südflanke der Schachtanlage Asse“ inhaltlich erweitert und in die Baumaßnahme „Schließung der Schachtanlage Asse“ überführt.

Diese Baumaßnahme untergliedert sich nunmehr in 18 Teile:

- Teil 1: Baustelleneinrichtung beim Lieferanten des Versatzmaterials
- Teil 2: Umbaumaßnahmen am Gleisanschluss
- Teil 3: Baustelleneinrichtung auf der Schachtanlage Asse
- Teil 4: Bergmännische Erstellung von Strecken und Bohrungen
- Teil 5: Geotechnische Instrumentierung für die Überwachung
- Teil 6: Verfüllmaßnahme und baubegleitende Überwachung
- Teil 7: Rückbau der Baustelleneinrichtung
- Teil 8: Bauleitung
- Teil 9A: Arbeiten zur Gewährleistung der Standsicherheit während der Betriebsphase
- Teil 9B: Arbeiten als Voraussetzung zur Erstellung des Langzeitsicherheitsnachweises für die Schachtanlage Asse
- Teil 10: Arbeiten gemäß zugelassenem Rahmenbetriebsplan „Zukünftige Arbeiten auf der Schachtanlage Asse“, Pkt. 2.1
- Teil 11: Personal
- Teil 12: Infrastrukturelle Aufwendungen Asse
- Teil 13: Resthohlraumverfüllung

- Teil 14: Geotechnische und hydrogeologische Überwachung der Resthohlraumverfüllung
- Teil 15: Rückbau unter Tage
- Teil 16: Rückbau, Verfüllung und Verschluss der Tagesschächte
- Teil 17: Verfüllung der Tagesbohrungen
- Teil 18: Infrastrukturelle Leistungen der GSF-Neuherberg

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Die Teile 1 bis 6 der Baumaßnahme sind abgeschlossen.

Für die Verfüllmaßnahme (Teil 6) in den Abbauen der Südflanke wurden insgesamt rund 2,15 Mio. t Verfüllmaterial von der Halde Ronnenberg bis April 2004 eingebracht. Das parallel zur Verfüllmaßnahme laufende Überwachungsprogramm – bestehend aus Extensometer-, Inklinometer-, Lage- und Spannungsmessungen sowie geophysikalischen Überwachungen – zur Ermittlung der Auswirkungen dieser gebirgsmechanischen Stabilisierungsmaßnahme wird routinemäßig fortgesetzt.

Der Rückbau der Baustelleneinrichtung (Teil 7) erfolgt entsprechend der Planung zum 4. Nachtrag der HU-Bau zwischen 2011 und 2013.

Die Überwachung der Baumaßnahme im Rahmen der Bauleitung (Teil 8) wurde im Berichtszeitraum weiterhin wahrgenommen. Der 4. Nachtrag zur Haushaltsunterlage-Bau (HU-Bau) gem. § 24 BHO ist entsprechend dem Antrag der GSF vom 22.09.2004 – Sch/fr - mit Schreiben vom 16.11.2004 durch den BMBF aus haushaltstechnischen Gründen zunächst nicht in vollem Umfang bewilligt worden, sondern in Höhe einer zusätzlichen Projektförderung von höchstens 89.530.000 €. Die für das Vorhaben bewilligte Zuwendung wird damit zunächst auf insgesamt 237.320.963,43 € erhöht. Eine Aufstockung bis zur beantragten Höhe des 4. Nachtrags zur HU-Bau ist zeitgerecht im Haushaltsjahr 2005 zugesagt.

Die Arbeiten zur Gewährleistung der Sicherheit für den Standort der Schachanlage Asse während der Betriebsphase (Teil 9A) sind abgeschlossen.

Die Arbeiten als Voraussetzung zur Erstellung des Langzeitsicherheitsnachweises für die Schachanlage Asse (Teil 9B) wurden im Berichtszeitraum fortgeführt. Der Aufbau eines pneumatischen Drucks im Grubengebäude der Schachanlage Asse als unterstützende Maßnahme bei der Einleitung des Schutzfluids oberhalb der 700-m-Sohle wird aus gebirgsmechanischen Gründen in Erwägung gezogen. Der Sicherheitsbericht wurde im Entwurf dem Landesbergamt Clausthal-Zellerfeld übergeben; die Behörde hat im Dezember ihre Anmerkungen dazu gemacht, die zurzeit in den Sicherheitsbericht eingearbeitet werden.

Die Arbeiten gemäß zugelassenem Rahmenbetriebsplan „Zukünftige Arbeiten auf der Schachanlage Asse“ (Teil 10) dauern an. Auf der 775-m-Sohle wurde eine Prototyp-Strömungsbarriere aus Sorelbeton zur Erprobung der technischen Machbarkeit errichtet. Im Berichtszeitraum erfolgte die z. Zt. noch andauernde Druckbeaufschlagung der Barriere mit Schutzfluid und die Erfassung und Auswertung der dabei anfallenden Messwerte. Weiterhin werden Laboruntersuchungen zur technischen Optimierung der Sorelbetonrezeptur und zur Bestimmung von Wärmeparametern durchgeführt. Der Entwurf des Sonderbetriebsplans zur Errichtung der Strömungsbarrieren liegt der Genehmigungsbehörde vor. Die Anmerkungen der Behördengutachter werden zurzeit bearbeitet. Nach Genehmigung des Sonderbetriebsplanes ist der Bau von Strömungsbarrieren im Umfeld der Lagerkammern für radioaktive Abfälle vorgesehen. Hierfür wurden die umfangreichen übertägigen Baumaßnahmen der Anlagen zum Baustofftransport fortgeführt und die Voraussetzungen für die Einrichtung der untertägigen Baustoff- und Mischanlage durch bergmännische Aufführungsarbeiten geschaffen.

Der Personalaufwand (50 % der Gesamtkosten des Haushaltsjahres 2004 (gerundet)) (Teil 11) im Berichtszeitraum betrug für Eigenpersonal 1.366.000 € und für Fremdpersonal 1.056.000 €.

Die infrastrukturellen Aufwendungen für das Forschungsbergwerk Asse (Teil 12) betragen im Berichtszeitraum 2.944.000 €.

Im Rahmen der Resthohlraumverfüllung (Teil 13) wurden die vorbereitenden Arbeiten (Erstellung von Bohrungen, Einbau von Rohrleitungen) zur Verfüllung des Tiefenaufschlusses unterhalb der 775-m-Sohle durchgeführt und ab April 2004 auf der 975-m-Sohle der Probetrieb zur Verfüllung des Tiefenaufschlusses aufgenommen. Insgesamt wurden im Probetrieb rund 10.360 t Haldensalz zusammen mit 383 m<sup>3</sup> eigener MgCl<sub>2</sub>-Lösung aus dem Laugensumpf auf der 850-m-Sohle verblasen. Seit September 2004 wird das Haldensalz durch eigenes Salz aus Auffahrungen und Nachschnitten ersetzt.

Die Arbeiten zur Verfüllung des Blindschachtes 1 von der 975- bis zur 800-m-Sohle wurden Anfang Juni begonnen. In ein zu verfüllendes Volumen von 593 m<sup>3</sup> wurden im Berichtszeitraum 1.073 t Schotter verstrützt.

Die übertägigen Anlagen zur Förderung von Lösungen für den Umschlag von Schutzfluid in und Zutrittslösung aus der Grube wurden errichtet und die dafür notwendigen Infrastrukturarbeiten unter Tage im Berichtszeitraum durchgeführt. Der Probebetrieb mit 100 m<sup>3</sup> Schutzfluidförderung in die Grube wurde im Dezember erfolgreich abgeschlossen.

Für die geotechnische und hydrogeologische Überwachung der Resthohlraumverfüllung (Teil 14) wurden vorbereitende Arbeiten aufgenommen.

Im Rahmen der Arbeiten zum Rückbau unter Tage (Teil 15) wurden sämtliche Infrastrukturbereiche (E-Werkstatt, Kfz-Werkstatt, Lager, etc.) von der 800-m-Sohle in neu erstellte Hohlräume auf der 490-m-Sohle verlegt. Der Umzug wurde durchgeführt.

Für den Rückbau, die Verfüllung und den Verschluss der Tagesschächte (Teil 16) wurde die Baustelleneinrichtung errichtet. Der Betriebsplan zum Ausrauben der im Schacht 4 zwischen der 925-m-Sohle und der 750-m-Sohle vorhandenen Stahleinbauten wurde zugelassen. Die Arbeiten begannen Anfang September.

Das Verfüllen der Tagesbohrungen (Teil 17) erfolgt entsprechend der Planung zum 4. Nachtrag der HU-Bau in 2010.

Für die infrastrukturellen Leistungen (50 % der Gesamtkosten des Haushaltsjahres 2004 (gerundet)) der GSF-Neuherberg (Teil 18) wurden im Berichtszeitraum 290.000 € aufgewendet.

### **3. Geplante Weiterarbeit**

Teil 8: Wahrnehmung der Überwachung der Baumaßnahme im Rahmen der Bauleitung und Organisation eines alle Schließungsmaßnahmen umfassenden Qualitätsmanagements, Erstellung des Abschlussbetriebsplanes für die Schachanlage Asse, Konzeptplanung für eine Druckluftstabilisierung des Grubengebäudes während der Schutzfluideinleitung

Teil 9B: Revision des Sicherheitsberichtes mit Langzeitsicherheitsnachweis unter Einbeziehung der Kommentare der Genehmigungsbehörde

Teil 10: Weiterführung der vorbereitenden Arbeiten zum Bau von Strömungsbarrieren im Umfeld der Lagerkammern für radioaktive Abfälle und Durchführung der Maßnahmen

Teil 13: Weiterführung der Resthohlraumverfüllung

Teil 14: Weiterführung der geotechnischen und hydrogeologischen Überwachung der Resthohlraumverfüllung

Teil 15: Fortführung der untertägigen Rückbauarbeiten

Aufbau und Einrichtung eines QS-Labors im Rahmen des Qualitätsmanagements

### **4. Erfindungen, Verbesserungen, Schutzrechte, Berichte, Veröffentlichungen, Internationales**

keine

### **5. Kosten**

Kosten bisher (von 1993 bis 12/2004):	142,6 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	17,7 Mio. €
Zukünftige Kosten:	326,5 Mio. €
Geldgeber:	Bund 100 %

## **1.4 TRIGA Heidelberg II**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Deutsches Krebsforschungszentrum, Postfach 10 19 49, 69009 Heidelberg	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung des Forschungsreaktors TRIGA HD II	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 2000 bis 2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 11 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Jünger-Gräf

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

1996 wurde beschlossen, den Forschungsreaktor TRIGA Heidelberg II nach Abschluss der noch laufenden Forschungsprojekte Ende 1999 endgültig abzuschalten.

Durch den Beschluss der amerikanischen Regierung, im Rahmen des RERTR-Programmes den hochangereicherten Brennstoff amerikanischen Ursprungs zurückzunehmen, war es möglich geworden, bis 2006 auch die Brennelemente (BE) des TRIGA HD II nach USA zurückzuführen. Teil des Rücknahmevertrags war die genaue Beschreibung der BE und Rechnungen zum Abbrand, zur Nachwärme und zu entstandenen Isotopen.

Für frische BE im Lager des TRIGA hatte sich zwischenzeitlich die Möglichkeit einer Abgabe an die TRIGA-Reaktoren in Mainz und Wien ergeben.

Im Mai 2000 wurde mit dem Firmenkonsortium NCS/GNS ein Vertrag über den Transport der BE nach Idaho Falls geschlossen, 2001 wurde der Transport durchgeführt.

Einige spezielle Komponenten für die Beladung der Brennelemente wurden von der Firma GNS gefertigt - so z.B. die BE-Ladeinheit, der Transfer-Behälter u.a.m. Eine Stahlblechwand, die den Bereich des Zyklotrons vom gesamten Beladebereich des Reaktors abtrennt, wurde errichtet. Diese Abtrennung wird während des eigentlichen Reaktorrückbaus bestehen bleiben.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Das Projekt ist genehmigungstechnisch abgeschlossen. Die Genehmigung für den vollständigen Rückbau liegt vor.

Folgende Einzelschritte sind hervorzuheben:

- 2.1 Die Stilllegungs- und Rückbaugenehmigung wurde mit Datum vom 13. September 2004 mit verschiedenen Auflagen erteilt. Der Sofortvollzug ist angeordnet. Die Genehmigung lag zur Einsichtnahme von 05. – 18.10 04 öffentlich aus. Es erfolgten keine Einsprüche.
- 2.2 Insgesamt entstand ein Verzug von ca. 6 Monaten durch intensive Diskussion mit dem Gutachter über die nach seiner Ansicht unzureichende Personaldecke im Rückbaubetrieb; hinzu kamen altersbedingte Personalumstellungen bei der Aufsichtsbehörde sowie Überlastung bei der Genehmigungsbehörde.  
Nach mehrfachen Diskussionen mit Gutachter und Aufsichts- / Genehmigungsbehörde wurde die Genehmigung ohne den Einsatz von zusätzlichem Personal im Rückbaugeschehen erteilt.  
Die ergänzenden Unterlagen zum Sicherheitsbericht sind erstellt; weitere Detailunterlagen werden jeweils rückbaubegleitend gefertigt.
- 2.3 Alle nicht mehr benötigten Komponenten aus der Reaktorhalle sind freigemessen und entsorgt.  
Die aktivierten Graphit-Elemente sind an die Landessammelstelle abgegeben.  
Das Rückkühlwerk auf dem Dach des Reaktorgebäudes ist demontiert und entsorgt.  
Die Bleiburg am Bioschild ist demontiert und einer anderen Nutzung (Zykl.) zugeführt.
- 2.4 Es wurden langwierige, vorbereitende Maßnahmen für die Entnahme des Reaktorkerns und der sonstigen Einbauteile aus dem Tank durchgeführt.  
Die Entnahme des Reaktorkerntragegerüsts mit Graphitreflektor und Karussell wurde am 08. und 09. Dezember 2004 durchgeführt.  
Der Abschirmbehälter mit dem Reaktorkern wurde als Radioaktivtransport am 10.12.04 zur Landessammelstelle Baden-Württemberg im FZK transportiert.
- 2.5 Die statischen Unterlagen für die Einhausung wurden vom Prüfstatiker geprüft und freigegeben.  
Die Hilfseinrichtungen (Lüftung, Druckluft, Kran etc) wurden vervollständigt und vom Gutachter abgenommen.  
Zur Zeit werden die ersten Maßnahmen für die Demontage von B-Labor (Ost) und Reaktormaschinenraum vorbereitet.
- 2.6 In TRIGA Heidelberg I wurde Anfang Oktober der Kontrollbereich eingerichtet. Die Probenahme ist erfolgt, die Auswertung erfolgt zur Zeit. Zwischenzeitlich wurde die Baustelleneinrichtung für den Rückbau HD I vervollständigt und neue Transportwege geschaffen.  
Der Sicherheitsbericht für den Rückbau TRIGA HD I wird auf Basis der Ergebnisse der Probebohrungen erstellt.

## 5. Kosten

Kosten insgesamt:

11 Mio. €

Geldgeber:

Bund 90 %, Land 10 %



## **1.5 Projekt MAREN bei GKSS**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Postfach 11 60, 21494 Geesthacht	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entsorgung radioaktiver Reststoffe (Projekt MAREN-1)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 2002 bis 2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 33 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Schmidt

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

GKSS Forschungszentrum GmbH ist Betreiber des Forschungsreaktors FRG-1 und der Landessammelstelle für die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle. In der Zuständigkeit von GKSS befinden sich außerdem Teile des stillgelegten Forschungsreaktors FRG-2 sowie die in Zwischenlagerung befindlichen radioaktiven Komponenten des stillgelegten Kernenergieforschungsschiffes NS Otto Hahn (OH).

Die aus dem Betrieb der kerntechnischen Anlagen angefallenen und anfallenden radioaktiven Reststoffe und Abfälle unterliegen im Rahmen des Projektes MAREN-1 der Sammlung, Bilanzierung, Konditionierung und Zwischenlagerung bis zur späteren Entsorgung in ein Endlager. MAREN-1 trägt dazu bei, die gesetzlichen Vorgaben zur Verwertung radioaktiver Reststoffe und Beseitigung radioaktiver Abfälle zu erfüllen. Durch zeitnahes Abfallmanagement werden bei absehbarer Teuerung Kosteneinsparungen erwartet und erforderliche Zwischenlagerkapazität geschaffen.

Die zu MAREN zählenden Arbeitspakete gliedern sich in die 3 Gruppen:

- I. Schwach- und mittelradioaktive Reststoffe und Abfälle
  - OH feste LAW / MAW (221, 222)
  - FRG feste LAW / MAW (231, 232)
  - FRG flüssige Abfälle, Abwasseraufbereitungsanlage (236, 238)
  
- II. Kernbrennstoffe und zugehörige Reststoffe
  - OH bestrahlte Versuchsbrennstäbe (223)
  - OH-HAWC bei WAK (224)
  - FRG, Rücknahme von Abfällen aus Dounreay (233)
  - FRG, Entsorgung BE (235)
  
- III. Administrativer Bereich (bauliche und personalkapazitätsverstärkende Maßnahmen).

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Während des Berichtszeitraumes wurden folgende Arbeiten mit Priorität abgewickelt:

- Konditionierung feste radioaktive Abfälle (221, 231)  
Die Konditionierungsarbeiten bei FZK/HDB sind bis auf die Verbrennung restlicher FRG-Harze und OHA-Abfälle abgeschlossen.
- Abwasseraufbereitungsanlage (238)  
Die Klärung offener Punkte zur Begutachtung der eingereichten technischen Unterlagen dauert an.
- Aufarbeitung bestrahlter OH-Versuchsbrennstäbe (223)  
Fa. Cogema hat die technische Machbarkeit der WA des Materials bestätigt. Die Unterlagenprüfung dauert an.  
Parallel hierzu werden Möglichkeiten zur Zwischenlagerung der Brennstäbe in Deutschland sondiert.
- Entsorgung bestrahlter FRG-BE (235)  
Im Juli des Jahres sind 33 Stck. abgebrannte MTR-Brennelemente in die USA ausgeführt worden.
- Längerfristige Zwischenlagerung (227, 237, 239)  
Weitere Abwicklung notwendiger Wartungs- und Infrastrukturmaßnahmen (Wartung / Instandhaltung im Heißen Labor, Rückbau Abwasserleitungen im Lagerbereich, Sachverständigentätigkeit).

## 3. Geplante Weiterarbeit

- Konditionierung LAW (221, 231): Durchführung der restlichen Konditionierungsarbeiten;
- Abwasser (236, 238): Entscheidungsfindung betr. Eigenaufbereitung, Abtransport betrieblicher Abwässer zur Fremdaufbereitung bei FZJ;
- OH-Brennstäbe (223): Herbeiführung der Vertragsvereinbarung zur WA mit Cogema. Weiterführung der Sondierungen betreffs Zwischenlagerung in Deutschland;
- Konditionierung MAW (221, 232): Datenzusammenstellung, Konzeptbearbeitung;
- Längerfristige Zwischenlagerung(227, 237, 239): Bereitstellung erforderlicher Infrastrukturmaßnahmen, Gewährleistung der sicheren Zwischenlagerung.

## 4. Erfindungen, Verbesserungen, Schutzrechte, Berichte, Veröffentlichungen, Internationales

keine

## 5. Kosten

Kosten bisher (seit 01/2002):	12,3 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	2,7 Mio. €
Zukünftige Kosten:	20,7 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Länder 10 %



## 2 FuE-Vorhaben „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“

### 2.1 Fördervorhaben

<b>02 S 7900</b>	Verbundprojekt: Kontaminierter Beton: Betonfreigabe – Betonrezyklierung	<b>Brenk Systemplanung, Aachen</b>	📖 38
<b>02 S 7910</b>	Verbundprojekt: Kontaminierter Beton: Rückbau kerntechnischer Anlagen - Eindringen von Radionukliden in Betonoberflächen und Freisetzung eingedrungener Aktivität aus Bauschutt und Beton	<b>Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH)</b>	📖 40
<b>02 S 7951</b>	Entsorgung von Beryllium / Berylliumoxid und Cadmium aus Forschungsreaktoren	<b>TU München</b>	📖 42
<b>02 S 7991</b>	Entwicklung emissionsarmer und kostengünstiger Verfahrens- und Handhabungstechniken für Dekontaminations- und Abtragverfahren	<b>Universität Hannover</b>	📖 44
<b>02 S 8011</b>	Forschungsvorhaben zur Optimierung der Reststoffverwertung von Metallen. Weiterführende Untersuchungen (FORM III)	<b>Siempelkamp, Krefeld</b>	📖 46
<b>02 S 8021</b>	Entwicklung von Beurteilungsmethoden für Transport- und Lagerbehälter mit erhöhten metallischen Reststoffanteilen -Abschließende Untersuchungen (EBER III)-	<b>BAM, Berlin</b>	📖 48
<b>02 S 8031</b>	Verbundprojekt: Aufbereitung mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation	<b>Brenk Systemplanung, Aachen</b>	📖 50
<b>02 S 8041</b>	Verbundprojekt: Aufbereitung mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation	<b>Siempelkamp Nukleartechnik GmbH, Krefeld</b>	📖 52
<b>02 S 8071</b>	Verbundprojekt: Aufbereitung mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation	<b>Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen</b>	📖 54
<b>02 S 8081</b>	Verbundprojekt: Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen	<b>TU München</b>	📖 56
<b>02 S 8091</b>	Verbundprojekt: Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen	<b>FZ Jülich</b>	📖 58
<b>02 S 8102</b>	Erweiterung der Einsatzgrenzen modularer Schneidtechnologien für den kostengünstigen Rückbau kerntechnischer Anlagen, EMOS	<b>Universität Hannover</b>	📖 60

- |                    |   |   |      |
|--------------------|---|---|------|
| <b>02 S 8112</b>   | Abdichtung von Wegsamkeiten in Salzformationen mit kristallisierenden Evaporitmaterialien (AISKRIS-TALL)  | <b>DBE Technology GmbH, Peine</b>                                       | 📖 62 |
| <b>02 S 8122</b>   | Verbundprojekt: Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abprodukt-Konditionierung                              | <b>TU Dresden</b>   | 📖 64 |
| <b>* 02 S 8132</b> | Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung   | <b>Universität des Saarlandes</b>                                       | 📖 66 |
| <b>02 S 8142</b>   | Selektive Tritium-Extraktion aus Wasser und Bindung auf einen Träger  | <b>TU München</b>   | 📖 68 |
| <b>02 S 8152</b>   | Messmethoden zur Charakterisierung radioaktiver Abfälle und zur Freimessung von Reststoffen aus der Stilllegung kerntechnischer Anlagen (MESRAB)          | <b>Rheinisch-Westfälische TH Aachen</b>                                 | 📖 70 |
| <b>02 S 8162</b>   | Verbundprojekt: Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abprodukt-Konditionierung                              | <b>Laserinstitut Mittelsachsen e.V., Mittweida</b>                      | 📖 72 |
| <b>02 S 8172</b>   | Entwicklung eines Konditionierungsverfahrens für Kernbrennstoffe aus dem Siemens-Unterrichts-Reaktor (SUR)  | <b>STEAG encotec GmbH, Essen</b>  | 📖 74 |
| <b>02 S 8182</b>   | Untersuchungen zur Strahlenschutz-Vorsorge für radionuklidbelastetes Substrat: Mikrobieller Beitrag zur Bioakkumulation aus Bauschutt                     | <b>Friedrich-Schiller-Universität, Jena</b>                             | 📖 76 |
| <b>* 02 S 8203</b> | Genetische Wirkung dicht ionisierender Strahlen   | <b>Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Darmstadt</b>             | 📖 78 |
| <b>* 02 S 8213</b> | Mechanismen der Zytotoxizität durch Alpha-Strahlung in humanen normalen und malignen hämatopoetischen Zellen  | <b>Universitätsklinikum Düsseldorf</b>                                  | 📖 80 |
| <b>* 02 S 8223</b> | Inaktivierung von Mdm2 nach ionisierender Strahlung – Aufklärung der Signaltransduktionskette   | <b>Universität Fride-riciana zu Karlsruhe (TH)</b>                      | 📖 82 |
| <b>02 S 8234</b>   | Vorstudie über die Rückführung der Wiederaufarbeitungsabfälle von Brennelementen deutscher Forschungsreaktoren aus der WA DOUNREAY in Schottland (RETURN) | <b>DBE Technology GmbH, Peine</b>                                       | 📖 84 |
| <b>02 S 8244</b>   | Entsorgung von Thoriumverbindungen, Teilprojekt 1 – Erstellung einer Entscheidungsgrundlage zur Verwertung/Entsorgung von Thoriumverbindungen             | <b>Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rosendorf, Dresden</b> | 📖 86 |
| <b>* 02 S 8254</b> | Checkpoint Manipulation als Strategie für den Strahlenschutz und für die Strahlensensibilisierung von Säugetierzellen                                     | <b>Universitätsklinikum Essen</b>                                       | 📖 88 |

<b>* 02 S 8264</b>	Anpassung einer Ionen-Mikrostrahleinrichtung für Untersuchungen zur Dynamik von geschädigten DNA-Regionen und zur Rekrutierung von Reparaturfaktoren	<b>Ludwig-Maximilians-Universität München</b>	📖 90
<b>02 S 8274</b>	Fallversuche mit Brennelement-/HAW-Transport- und Lagerbehältern in Originalgröße	<b>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin</b>	📖 92
<b>02 S 8284</b>	Untersuchungen zur Sicherheit gegen Behälterkorrosion in Langzeitzwischenlagern	<b>Universität Hannover</b>	📖 94
<b>02 S 8294</b>	Kontrolle biologischer Untersuchungen bei der Dekontamination heterogener, schwach radioaktiv kontaminierter Geosubstrate für die Strahlenschutzvorsorge	<b>Friedrich-Schiller-Universität Jena</b>	📖 96

**\* Strahlenforschungsvorhaben**



## **2.2 Formalisierte Zwischenberichte**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Brenk Systemplanung GmbH, Heider-Hof-Weg 23, 52035 Aachen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 7900</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Kontaminierter Beton: Betonfreigabe - Betonrecycling		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2000 bis 30.11.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 30.11.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 383.302,23 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Deissmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bauschutt bzw. Gebäudemassen bilden den massereichsten Stoffstrom beim Rückbau kerntechnischer Anlagen. Für die Freigabe ist die Kenntnis des Eindring- und des Freisetzungsverhaltens von Radionukliden in bzw. aus Baustoffen relevant. Dieses Vorhaben verfolgt daher 5 Ziele:

- 1) experimentelle Untersuchung des Eindringverhaltens ausgewählter Radionuklide in Betonoberflächen;
- 2) experimentelle Ermittlung der Radionuklidverteilung an Zementsteinphasen und Zuschlag;
- 3) experimentelle Untersuchung zur Wiederverwertung von Beton mittels Elutionsversuchen;
- 4) modellmäßige Untersuchung zur Ermittlung des Freisetzungsverhaltens von Radionukliden aus Bauschutt;
- 5) Einbeziehung von Ergebnissen experimenteller Untersuchungen zur Freisetzung von H-3 aus Beton.

Die Ziele 4) i.V.m. 5) erlauben die wesentliche Verbesserung von radiologischen Modellen und radiologischen Bewertungen, insbesondere bzgl. der oft restriktiven Wasserpfade.

Das Vorhaben führen Brenk Systemplanung (Vorhabensziele 4 und 5) und das Inst. f. Massivbau und Baustofftechnologie, Abt. Baustofftechnologie, der Universität Karlsruhe (Vorhabensziele 1 bis 3, Vorhaben FKZ 02 S 7910) als Verbundvorhaben durch.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### **AP IV/1:** Auswahl der zu betrachtenden Radionuklide

Auswahl von Radionukliden, die typische (längerlebige) Leitnuklide bzw. sonst relevante Nuklide in kerntechnischen Anlagen (Kernkraftwerken und Anlagen des Brennstoffkreislaufs) darstellen und für die eine radiologische Relevanz bzgl. der Ausbreitung über Wasserpfade besteht.

### **AP IV/2:** Recherche, Zusammenstellung und Auswertung der benötigten Ausgangsdaten und Informationen

Grundlage für realistischere generische Beurteilung der Freisetzung von Schadstoffen aus kontaminierten Betonmaterialien ist aussagekräftige Datenbasis zur Charakterisierung der anfallenden Betonarten sowie der zu berücksichtigenden physikalisch-chemischen Umgebungs- bzw. Randbedingungen.

### **AP IV/3:** Identifizierung und Diskussion relevanter Betonersatzungs- und Schadstofffreisetzungprozesse

Auf Basis von AP IV/2 werden für die verschiedenen Betonmaterialien bzw. Betonmaterialklassen relevante Betonersatzungs- und Schadstofffreisetzungprozesse unter Berücksichtigung der möglichen Entsorgungs- bzw. Verwertungsoptionen und der zu erwartenden Milieubedingungen identifiziert, charakterisiert und diskutiert.

**AP IV/4: Erarbeitung von Modellansätzen zur realistischen Beschreibung relevanter Betonzersetzungs- und Schadstofffreisetzungprozesse**

Aufbauend auf der Datenrecherche werden für die relevanten Betonzersetzungs- und Schadstoffmobilisierungsprozesse geeignete Beschreibungs- bzw. Modellansätze abgeleitet und validiert, die eine realistischere Abschätzung des Schadstoffaustrages aus radioaktiv kontaminierten Betonmaterialien in Abhängigkeit der zu erwartenden physikalisch-chemischen Milieu- und Randbedingungen gestatten.

**AP IV/5: Durchführung realistischer Modellrechnungen zur Betonzersetzung und Schadstofffreisetzung**

Auf Basis der zuvor erarbeiteten Modellansätze gemäß AP IV/4 werden Modellrechnungen zur realistischen Abschätzung der Freisetzung von radioaktiven Kontaminanten aus Betonmaterialien in Abhängigkeit der zu erwartenden physikalisch-chemischen Milieu- und Randbedingungen durchgeführt und anhand der zur Verfügung stehenden Daten- und Informationsbasis validiert.

**AP IV/6: Realistische Abschätzung der resultierenden Dosisbelastung**

Ausgehend von den durchgeführten Modellrechnungen zum Schadstoffaustrag werden realistischere Abschätzungen zu den resultierenden Dosisbelastungen durch Radionuklide über den Wasserpfad für die in diesem Zusammenhang einschlägigen Szenarien hinsichtlich der hier betrachteten Zielsetzung durchgeführt.

**AP IV/7: Ergebnisdiskussion und Folgerungen hinsichtl. Rückbau kerntechnischer Anlagen**

Darstellung und Erläuterung der realistischen Abschätzungen bzw. Modellierungen und der bisherigen konservativen Abschätzungen bzw. Modellierungen sowie Vergleich hierzu. Erarbeitung von Empfehlungen hinsichtlich des Vorgehens beim Rückbau kerntechnischer Anlagen.

**AP V: Koordination des Vorhabens****3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Schwerpunkt im Berichtszeitraum bildeten die abschließenden Arbeiten zur deterministischen und probabilistischen Modellierung der Freisetzung radioaktiver Kontaminanten aus Beton und den damit verbundenen Dosisbelastungen über den Wasserpfad. Als Standardszenario wurde hierbei die Deposition von kontaminiertem Beton auf einer Inertstoffdeponie (Bauschuttdeponie) der Deponieklasse 0 nach Deponieverordnung betrachtet. Dabei zeigte sich, dass i. V. zu früheren generischen Betrachtungen die Nuklidfreisetzung verzögert ist und die ermittelten Dosisbelastungen z. T. mehr als 1 Größenordnung niedriger sind. Hinsichtlich der Dosis über den Grundwasserpfad waren dabei i. w. langlebige  $\alpha$ -Strahler (und ggf. deren Töchter) relevant. Als wesentlicher Parameter bzgl. der Nuklidfreisetzung wurde anhand von Sensitivitätsanalysen der nuklidspezifische  $k_d$ -Wert (Sorption) des Betons identifiziert, wohingegen der Einfluss der Variabilität des Diffusionskoeffizienten weniger ausgeprägt ist. In den betrachteten Szenarien zum Betonrecycling (z.B. Verwendung als Schotter, Einbau in Lärmschutzwahl) und zum Materialverbleib am Standort (z.B. Verbleib von Fundamenten, Baugrubenverfüllung mit Abrissmaterial) zeigten sich starke Abhängigkeiten von den gewählten Randbedingungen (u. a. Geometrie), so dass hierzu i. w. nur exemplarische Modellrechnungen zur Erläuterung relevanter Material- und Standortparameter und wesentlicher, die Nuklidfreisetzung/Dosisbelastung beeinflussender Effekte durchgeführt wurden.

Des Weiteren erfolgten im Berichtszeitraum Zuarbeiten zu 02S 7910 bzgl. der Berechnung von Diffusionskoeffizienten für Co-60, Sr-85, I-131 und Cs-137 anhand von Tiefenprofilen der Nuklidverteilung in Beton- und Zementsteinproben aus Eindring- bzw. Diffusionsversuchen.

**4. Geplante Weiterarbeiten**

Fertigstellung des Endberichtes.

**5. Berichte, Veröffentlichungen**

Deissmann, G., Bath, A. (2004): Dissolution kinetics of radionuclide host phases in cementitious environments. Beih. European Journal of Mineralogy, 15: 29.

Deissmann, G., Thierfeldt, S., Wörlen, S. (in Druck): Modellierung der Radionuklidfreisetzung aus kontaminiertem Beton aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen. KONTEC 2005, Berlin.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 7910</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Kontaminierter Beton: Rückbau kerntechnischer Anlagen - Eindringen von Radionukliden in Betonoberflächen und Freisetzung eingedrungener Aktivität aus Bauschutt und Beton		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2000 bis 28.02.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 711.300,57 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Müller	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, erhebliche Kosteneinsparungen bei Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen zu erreichen. Durch experimentelle Untersuchungen zum Eindringverhalten der Radionuklide in Betonoberflächen, sowie durch Experimente zur Verteilung und Bindung der Kontaminanten an Zementsteinphasen und Zuschlag lassen sich Folgerungen hinsichtlich einer verbesserten Anwendung von Verfahren zur Dekontamination und Freigabemessung ziehen. Die Kenntnis des Freisetzungsverhaltens bestimmt maßgeblich die Annahmen, die bei radiologischen Betrachtungen der Verwertung oder Ablagerung von Bauschutt getroffen werden können, und beeinflusst damit entscheidend die Festlegungen zur Freigabe. Auslaugungsexperimente mit betonangreifenden Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung sollen dafür eine gesicherte Datenbasis schaffen.

Das Projekt erfolgt in Zusammenarbeit mit der Fa. Brenk Systemplanung, Aachen und VTKA Rossendorf e.V.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Forschungsprojekt ist in 4 Arbeitspakete (AP) gegliedert:

AP I: Eindringverhalten von Radionukliden in Betonoberflächen

AP II: Verteilung und Bindung der Radionuklide an Zementsteinphasen und Zuschlag

AP III: Wiederverwertung von Abbruchbeton

AP IV: Freisetzungverhalten von Radionukliden aus Bauschutt

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP I:

- Beendigung der Diffusionsversuche mit Beton C 20/25. Der hierbei ermittelte Diffusionskoeffizient von Cs-nat ist um ca. eine Größenordnung kleiner als von I-nat.
- Schichtweiser Abtrag der Betonscheiben und Zementsteindiaphragmen zur Bestimmung der Diffusionskoeffizienten von Co und Sr aus der tiefenabhängigen, schichtintegralen Verteilung der Elemente.

- Fortsetzung der Schleifarbeiten zur Ermittlung der maximalen Eindringtiefe von I-131 und Cs-137 beim kapillaren Saugen des Betons C 30/37.
- Bestimmung der Tiefenprofile der Radionuklide Sr-85 und I-131 in den Scheiben aus den Diffusionsversuchen mit C 30/37, C 20/25 und Zementstein (w/z = 0,5 und 0,6).

#### AP II:

- Fortführung der Untersuchungen zur Verteilung von Cs, I, Co und Sr auf Zementsteinphasen mittels Mikrosondenanalyse.

#### AP III:

- Beendigung der Auslaugversuche der mit den inaktiven Elementen Cs, Sr, I und Co beaufschlagten Betonkörper C 20/25 mit betonangreifenden Wässern (pH 5, pH 7, Mg- und sulfathaltig).
- Betonkörper C20/25 wurden mit I-131 und Sr-85 beaufschlagt, um kontaminierten Beton für Laugungsversuche mit betonangreifenden Wässern zu gewinnen. Die Auslaugung von I-131 betrug in 6 Tagen unabhängig vom angreifenden Agens maximal 6 %. Sr-85 wird dagegen agensabhängig mit 30 – 70 % in 12 Tagen wesentlich stärker ausgelaugt.
- Nach Brechen und Fraktionieren eines Betons aus einem KKW wurde Material zur Untersuchung der Cs-137-Freisetzung in Abhängigkeit von der Korngröße und dem betonangreifenden Agens gewonnen. Es wurde keine Anreicherung der Aktivität in einzelnen Kornfraktionen festgestellt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### AP I – AP IV:

- Beendigung der Auslaugversuche mit radioaktiven Nukliden und inaktiven Elementen an Prüfkörpern der Betonfestigkeitsklassen C 20/25 und C 30/37.
- Auswertung der Experimente zur Ermittlung der Transportkenngrößen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Fleischer, K.; Herold, G.; Raptis, K.; Neumann, A.; Müller, H.S.; Knappik, R.: Penetration and leaching studies of radionuclides in concrete and hardened cement paste. *Advances in Nuclear and Radiochemistry*, S.M. Qaim and H.H. Coenen (eds), Extended Abstracts NRC 6, ISBN 3-89336-362-9, pp. 590 - 592, 2004.

Neumann, A.; Herold, G.; Müller, H.S.: Untersuchungen zum Eindringverhalten von Cäsium-, Cobalt-, Iod- und Strontiumlösungen in zementgebundene Werkstoffe, GDCh-Monographie Bau-chemie, Bd. 31, 238 - 242, 2004.

Raptis, K.; Fleischer, K.; Herold, G.; Knappik, R.; Müller, H.S.: Investigations of penetration mechanisms of radionuclides in concrete and their leaching behaviour. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Seminar on Radioactive Waste Products (RADWAP 2002)*, ISBN 3-89336-335-1, pp 405 – 408, 2003.

Raptis, K.; Fleischer, K.; Herold, G.; Knappik, R.; Müller, H.S.: Penetration behaviour of relevant nuclides in Concrete. 6. Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ KONTEC, ISBN 3-9806415-6-2, pp 530 – 545, 2003.

Fleischer, K.; Herold, G.: Eindringverhalten von Radionukliden in Beton. 3. Workshop RCA im Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e. V.: „Radiochemische Analytik bei Betrieb und Rückbau kerntechnischer Anlagen, der Deklaration von Abfällen und im Strahlenschutz“; April 2004.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstraße 21, 80333 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 7951</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entsorgung von Beryllium / Berylliumoxid und Cadmium aus Forschungsreaktoren		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2001 bis 31.08.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.609.754,94 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Lierse von Gostomski	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist eine genaue Inventarisierung und Charakterisierung von Beryllium und Cadmium in deutschen Forschungsreaktoren, insbesondere hinsichtlich des enthaltenen radioaktiven Inventars. Für enthaltenes Tritium sollen Freisetzungsszenarien dargestellt und Konditionierungskonzepte entwickelt werden, welche geeignete Rückhaltungsmöglichkeiten für das radioaktive Inventar beinhalten.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Geplante Arbeitsschritte sind:

1. Klare Beschreibung des Entsorgungsproblems für Be und Cd-Bauteile aus deutschen Forschungsreaktoren mit Bestandsaufnahme und Charakterisierung der in Deutschland mit Neutronen bestrahlten und zur Entsorgung anstehenden Materialmengen.
2. Bestimmung des radioaktiven Inventars, zunächst durch Abschätzungen auf Basis von Spezifikationen der Material-Hersteller und von Betreiberangaben zu Neutronen-Fluenz und –Energiespektren, anschließend mittels zerstörungsfreier und invasiver Messverfahren an realen Proben aus dem Forschungsreaktor Garching FRM.
3. Experimentelle Bestimmung der Freisetzung von Tritium aus realen Be-Proben unter den Bedingungen eines bestimmungsgemäßen Lagerbetriebs (Zwischen- und Endlager) und des Störfalles „Brand“.
4. Entwicklung geeigneter Techniken zur Rückhaltung von Tritium aus Be.
5. Quantitative Darstellung von Szenarien zur Freisetzung radioaktiver Stoffe unter gegebenen Zwischen- und Endlagerbedingungen.
6. Entwicklung eines integrierten Handhabungs- und Verpackungskonzepts für Be- und Cd-Teile und nach Möglichkeit Erprobung im heißen Betrieb (Miniaturmaßstab)
7. Entwicklung eines umfassenden Konditionierungs- und Entsorgungskonzepts unter besonderer Berücksichtigung einer späteren Qualifizierungsmöglichkeit.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Fortführung und Abschluss der Titium-Freisetzungs-Versuche zum bestimmungsgemäßen Lagerbetrieb.

Durchführung und Abschluss von Vorexperimenten zur Freisetzung von Tritium und C-14 für den Störfall „Brand“ bei unterschiedlichen Temperaturen (200 °C, 500 °C, 1000 °C).

$\alpha$ -spektrometrische Untersuchung am Be-Probenmaterial nach vorheriger radiochemischer Separation und Präparation mittels Elektrodeposition.

Die maximale Freisetzung von Tritium bei 500 °C liegt bei  $< 1 \text{ E}+10 \text{ Bq/h}$ .

Die Untersuchung von Kaliumpermanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) ergab, dass dieses als alternatives Oxidationsmittel für Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) nicht geeignet ist.

Experimente zum Reaktionsverhalten von Silberoxid ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ) gegenüber Varigon (10 %  $\text{H}_2$ , Rest Argon) bei verschiedenen Temperaturen (35 °C, 40 °C und 50 °C) zeigten dagegen, dass bereits bei 35 °C ein quantitativer Umsatz von  $\text{Ag}_2\text{O}$  mit  $\text{H}_2$  zu elementarem Silber und Wasser erfolgt. Diese Redoxreaktion verläuft dabei umso schneller, je höher die vorgegebene Ausgangstemperatur ist (bei 50 °C ca. zweimal schneller als bei 35 °C).

DTA-/DSC-Analysen einer 50:50-Mischung (Massenanteile) aus  $\text{Ag}_2\text{O}$  und  $\text{PdO}$  unter Varigon (10 %  $\text{H}_2$ , Rest Argon) ergaben, dass eine solche Mischung entsprechend dem Reaktionsverhalten der Einzelkomponenten gegenüber  $\text{H}_2$  in zwei separaten Reaktionsschritten reagiert: Die bereits bei Raumtemperatur stark exotherm verlaufende Reaktion von  $\text{PdO}$  mit  $\text{H}_2$  liefert nicht genügend Energie für eine gleichzeitige Aktivierung der Reaktion des  $\text{Ag}_2\text{O}$  mit  $\text{H}_2$ ,  $\text{PdO}$  kann somit nicht als „Initialzündler“ verwendet werden.

Weitere Experimente mit  $\text{PdO}$  und  $\text{Ag}_2\text{O}$  wurden unter Verwendung eines Varigon-Gasgemisches mit einem Wasserstoffanteil von nur 3 % durchgeführt. Auch bei dieser Wasserstoffkonzentration wurden beide Metalloxide quantitativ reduziert. Die Thermografie der Reaktion von  $\text{PdO}$  mit 3 %  $\text{H}_2$  bei Raumtemperatur zeigte zudem eine nur mäßige Erwärmung der Probenumgebung auf ca. 40 °C.

Durchführung von Berechnungen zum Temperaturprofil der Be-Reflektoren im Störfall „Brand“ als Vorgabe für H-3-Freisetzungsuntersuchungen (Methode: CFD-Programm ANSYS CFX-5).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Abschluss der Freisetzungsversuche von C-14.

Durchführung von Experimenten bei RCM mit dem von IW zur Verfügung gestellten Aborbermaterial ( $\text{PdO}$  + Molekularsieb).

Durchführung von Freisetzungsversuchen von Tritium zum Störfall „Brand“.

Abschluss der Berechnungen zum Temperaturprofil der Be-Reflektoren im Störfall „Brand“. Vorläufige Bewertung der Zwischen- und Endlagerfähigkeit der entstehenden Abfallgebinde und Nennung von wesentlichen Aspekten, die bei der Störungs- bzw. Störfallbetrachtung der Konditionierungskampagne zu berücksichtigen sind.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 7991</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung emissionsarmer und kostengünstiger Verfahrens- und Handhabungstechniken für Dekontaminations- und Abtragverfahren		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2001 bis 30.09.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 898.598,38 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Bach	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen prototypische und neue Verfahren zum Abtragen von mineralischen Werkstoffen neu- und weiterentwickelt, optimiert und für den Realeinsatz qualifiziert werden. Ziel ist dabei die Minimierung von Schadstoffaustrag und Abtrag- / Trennzeit, die flexible Einsetzbarkeit und die Reduzierung der Kosten.

Die Verfahren sind

1. Trockeneis- Laserstrahl-Entschichten: Erweiterung des Einsatzbereiches, Qualifizierung zum personengeführten Einsatz, Optimierung des Verfahrens, Erprobung für neue Anwendungsfälle (Materialien).
2. Betonabtrag mit dem Hochleistungsdiodenlaser: Optimierung für das Abtragen von Beton unter Realbedingungen.
3. Abtragen und Trennen von asbesthaltigen Werkstoffen mit dem Neodym:YAG Laser: Optimierung für den Einsatz in kerntechnischen Anlagen unter Realbedingung.

Die Verfahren werden in Zusammenarbeit mit den Betreibern kerntechnischer Anlagen, die diese Entwicklungen beim Rückbau Ihrer Anlagen einzusetzen planen, durchgeführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Block 1: Entwicklung und Untersuchung der Verfahren:

1. Trockeneis-Laserstrahl-Entschichten
2. Laserstrahlabtragen unter besonderer Berücksichtigung von Hochleistungsdiodenlasern
3. Laserbearbeitung an asbesthaltigen Materialien

Block 2: Vergleich der Verfahren zum Abtragen von Beton nach Stand von Wissenschaft und Technik

- 1.1. Charakterisierung des Einsatzbereiches
- 1.2. Handhabung
- 1.3. Charakterisierung der Emissionen und Rückkontamination
- 1.4. Vergleich der Kosten
2. Ermittlung der Größen
3. Darstellung der Ergebnisse der Vergleichsuntersuchungen

Block 3: Darstellung und Verbreitung der Ergebnisse

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### Block 1: Verfahrensentwicklung

Trockeneis-Laserstrahlen:

- Ermittlung der Trockeneisstrahldüsen mit der höchsten Leistungsfähigkeit für den Betonabtrag
- numerische Strömungssimulation der Düsengeometrien als Basis für die Optimierung und Weiterentwicklung der Trockeneisstrahldüsen
- Erprobung eines Trockeneis-Laserstrahl-Freihandgerätes mit einer max. Abtragbreite von 80 mm zum Entlacken größerer Flächen und zum Abtragen von dünnen Betonschichten
- Ermittlung und Auswertung der Prozessleistung für breitere Trockeneisstrahldüsen und eine leistungsstärkere Trockeneisstrahlanlage.

Asbestschneidversuche:

- Abschließende Untersuchungen und Auswertungen wurden durchgeführt.

Laserstrahlabtragen:

- abschließende Untersuchungen durchgeführt
- Ergebnisse aufbereitet und abschließender Bericht erstellt

#### Block 2: Verfahrensvergleich

- Auswertung und Charakterisierung der gemessenen Staub- und Aerosolemissionen für das Trockeneis-Laserstrahlentschichten in Realumgebung im Forschungszentrum Karlsruhe, Mehrzweckforschungsreaktor
- Vergleichende Untersuchungen zum handbetriebenen Nadeln, Fräsen und Sandstrahlen sowie mit einem mechanisierten Wandshaversystem
- Bericht zur Auswertung der Staub und Aerosolmessungen in Realumgebung erstellt, Erweiterung des Verfahrenskennblattes zum Vergleich der Verfahren.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Simulation von veränderten Düsengeometrien mit dem Ziel einer homogeneren Partikelverteilung und einer höheren Partikelgeschwindigkeit für hohe Strahldrücke
- Konstruktion, Fertigung und Erprobung der optimierten Strahldüsen
- Weiterentwicklung der Handgeräte
- Aufarbeitung und Darstellung der Ergebnisse

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Versemann, R.; Fr.-W. Bach, G. Kremer, P. Brüggemann: Research and Development Results for Dismantling and Decontamination Application. Waste Management Symposium WM05, Tucson Arizona, 27. Februar – 3. März 2005
- Bach, Fr.-W., Versemann, R., Brüggemann, P.: Abtragen und Entschichten von mineralischen und organischen Werkstoffen mit dem Trockeneis-Laserstrahlen Conference Proceedings, KONTEC 2005, 20.-22. April 2005, 2005

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Siempelkamp Gießerei GmbH & Co., Siempelkampstraße 45, 47725 Krefeld		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 S 8011</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Forschungsvorhaben zur Optimierung der Reststoffverwertung von Metallen. Weiterführende Untersuchungen (FORM III)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2001 bis 31.12.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 704.850,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Bounin	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen werden in Zukunft vermehrt radioaktive metallische Reststoffe anfallen, die von einer konventionellen Wiederverwertung ausgeschlossen sind. In den abschließenden Untersuchungen (FORM III) wird die Abhängigkeit der Werkstoffeigenschaften von der chemischen Zusammensetzung bei der Reststoffverwertung statistisch abgesichert. Darüber hinaus werden Gusskörper (Hohlprofile) mit erhöhtem Recyclinganteil gefertigt, welche die Großausführungen der in Frage kommenden Behälter repräsentativ abdecken. Zur Bestimmung der Sicherheitsreserven werden Serien von Fallversuchen gezielt bis zum Versagen durchgeführt. Ein MOSAIK-II-Behälter wird in einem Fallversuch nach Anforderungen der Abfallbehälterklasse II geprüft (5m-Fall bei  $-20^{\circ}\text{C}$ ). Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, als Zuwendungsempfänger des Vorhabens "Entwicklung von Beurteilungsmethoden für Transport- und Lagerbehälter mit erhöhten metallischen Reststoffanteilen - Abschließende Untersuchungen (EBER III)", Förderkennzeichen: 02 S 8021.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- I Werkstofftechnische Untersuchungen an Probenplatten: Ermittlung statischer Kennwerte und Gefügeuntersuchungen für Einflussgrößenberechnung. Festlegung Sonderwerkstoff für Behälter-Dummies (Hohlprofile). Quantifizierung Einfluss Kerben auf Bruchzähigkeit.
- II Bruchmechanische Werkstoffbewertung unter Störfallbedingungen: Fertigung Hohlprofil aus FORM-Werkstoff für Probennahme. Ermittlung Werkstoffkennwerte bei RT und  $-20^{\circ}\text{C}$ .
- III Optimierung Behälterdesign und Strukturanalyse: Maßnahmen zur Reduzierung der dynamischen Beanspruchungen unter Impakt. Verbesserungen in der Idealisierung des Fundamentverhaltens in der dynamischen FEA und der Interaktion von Fundament und Behälter.
- IV Mechanische Prüfungen Gusskörper: Fertigung und mechanische Prüfungen der Hohlprofile. Einbringen von großen Kerben. schrittweise Bestimmung der Fallhöhe, die zur Rissinitiierung führt.
- V Mechanische Prüfungen Referenzbehälter: Fertigung eines optimierten MOSAIK II Behälters inkl. Einbringen von Kerben. Einbringen eines neuen Satz Kerben in vorhandenen Gusscontainer FORM II. Fallprüfungen beider Behälter unter Bedingungen nach ABK II (5m-Fall bei  $-20^{\circ}\text{C}$ ).
- VI Nachuntersuchungen: Probennahme aus Hohlprofilen und beiden Referenzbehältern. Untersuchungen auf Rissinitiierung. Zug- und Bruchmechanik-Eigenschaften im Stück.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Vorausberechnung der kritischen Rissgrößen für Mantellinienfall von MOSAIK®II-Behältern ohne Stoßdämpfer für verschiedene Fallhöhen und verschiedene Recyclingquoten (d.h. verschiedene Bruchzähigkeiten). In diesem Zusammenhang Abschätzung der erhöhten Anforderungen der Fallversuche FORM III gegenüber FORM II: Evtl. nochmals erhöhte Recyclingquote, größere und spitzere Kerben, erhöhte Fundamentsteifigkeit. Hieraus resultieren höhere Spannungen als bei den erfolgreichen Fallversuchen in FORM II.
- Zur Absicherung der Machbarkeit mit dem im 1. Halbjahr 2004 gewählten „Serie D“-Material wurde ein instrumentierter Vorversuch mit einem MOSAIK®II FORM III durchgeführt: Mantellinienfall nach Endlageranforderungen ohne Stoßdämpfer aus 5 m Höhe bei -20°C. An der höchstbeanspruchten Stelle wurde ein Kerb mit Übermaß eingebracht. Die Spannungsminderung aus Designoptimierung kam nicht voll zum Tragen, da die Eindringtiefe in das Fundament größer war als die Randüberstände. Der Versuch wurde nicht bestanden. Das Ergebnis trägt zur Festlegung der beherrschbaren Kerbgrößen bei und bestätigt die Vorhersagbarkeit mittels linear elastischer Bruchmechanik.
- Die 2004 nochmals erhöhte Recyclingquote wurde nicht weiter verfolgt und deshalb auch keine „Serie D“ mehr gefertigt. Stattdessen werden die Hohlprofile Serie C eingesetzt. Zwecks Fortführung des bisher verfolgten Konzepts der linear-elastischen Bruchmechanik wird die Prüftemperatur auf -40°C abgesenkt. Die ersten beiden Hohlprofile der Serie C wurden der BAM übergeben, die restlichen 2 sind in Arbeit. Die Bestimmung der Bruchzähigkeit für Serie C (am Hohlprofil C-0) wurde wieder aufgenommen.
- Zur Ergründung der höher als erwarteten Bruchzähigkeiten wurden an mehreren FORM-Materialien detaillierte Gefügeuntersuchungen vorgenommen. Im Falle gleicher Recyclingquote (gleicher chemischer Zusammensetzung) haben die Hohlprofile ein besseres Gefüge (eine höhere Bruchzähigkeit) als die Probenplatten, auf deren Basis das FORM III-Material gewählt wurde. Die Ergebnisse an den Probenplatten waren konservativ. Der Gießaufbau der Hohlprofile ist realitätsnäher.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Fallversuche mit den Hohlprofilen Serien B und C bei der BAM.
- Parallel dazu weitere Fall-Vorversuche mit MOSAIK®II FORM III bei SGK aus 0,8 m und 5 m Höhe. Kerbgrößen aufbauend auf heute geltende Prüfvorschriften.
- Fallversuch-begleitende Untersuchungen auf Rissinitiierungen des Kerbgrunds durch Zersägen der Prüfkörper und Untersuchen von Schlifflinien aus dem Kerbgrundbereich.
- Bei Bedarf, nach Fallversuchen Kontrollen der Materialkennwerte benachbart zu den Kerben (Zugversuch, Gefügebestimmung und Bruchzähigkeiten) für ausgewählte Prüfkörper.
- Weitere Untersuchung des Einflusses der nicht angeschwungenen Kerben auf den K-Wert.
- Anhand aller Versuchsergebnisse Festlegung von Lage und Größe und Einbringen eines neuen Satzes Kerben in den Gusscontainer FORM II für die erneute Fallprüfung nach ABK II durch die BAM. Weiterhin Festlegung der Recyclingquote für welche der MOSAIK®II FORM III die Endlageranforderungen nach ABK II erfüllt (Fall aus 5 m Höhe bei -20°C).
- Fertigung und anschließende Fallprüfung dieses Prototypen durch die BAM.
- Übertragung der Erkenntnisse zur Verminderung der Belastungen bei der Fallprüfung auf die Gusscontainer-Bauarten und Optimierung der Behälter-Fertigungsbedingungen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- D. Bounin, W. Kleinkröger, D. Schreiber: Design concept for maximized use of recycled scrap in the production of storage packages. PATRAM, 20.-24.09.2004, Berlin
- W. Kleinkröger, D. Bounin: Metallurgical concept for maximized use of recycled scrap in the production of storage packages. PATRAM, 20.-24.09.2004, Berlin, Poster Session

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12200 Berlin		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8021</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung von Beurteilungsmethoden für Transport- und Lagerbehälter mit erhöhten metallischen Reststoffanteilen - Abschließende Untersuchungen (EBER III)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2001 bis 31.12.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 357.198,73 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Droste	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Rezyklierung radioaktiven Metallschrottes aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen erlaubt, die Menge des endzulagernden Materials und die Kosten für die Endlagerung zu reduzieren. Die Methoden der sicherheitstechnischen Bewertung von Transport- und Lagerbehältern mit erhöhten metallischen Reststoffanteilen wurden in den Vorhaben EBER (02 S 7584) und EBER II (02 S 7788) entwickelt. Zur endgültigen Absicherung der Werkstoffeinsatzgrenzen in einem sicherheitstechnischen Bewertungskonzept sollen diese Methoden unabhängig vom Endlagerstandort formuliert, auf beliebige Aufprallfundamente übertragen und auf zylindrische Lagerbehälter erweitert werden. Dazu ist die Behälterbeanspruchungsanalyse weiterzuentwickeln. Noch offene Fragen in der werkstoffmechanischen Beurteilung sollen durch experimentelle Untersuchungen an Gussbauteilen beantwortet werden.

Zusammenarbeit mit der Fa. Siempelkamp Gießerei GmbH & Co. KG, Krefeld als Zuwendungsempfänger des „Forschungsvorhabens zur Optimierung der Reststoffverwertung von Metallen – Abschließende Untersuchungen (FORM III)“, Förderkennzeichen 02 S 8011.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- I. Experimentelle Untersuchungen zum Fallfundament  
(Untersuchung der Ankopplung und Bauausführung des Auflagefundamentes, Ermittlung der Beanspruchungshöhe in Hohlprofilen als Modellbauteile)
- II. Untersuchung künstlich vorgeschädigter Bauteile bei kritischer Belastung
- III. Untersuchung künstlich vorgeschädigter Bauteile bei Überlast
- IV. Weiterentwicklung der Beanspruchungsanalyse  
(Analyse des Einflusses des Fallfundamentes und von Behälterinnenmassen, Variation der Behälterfallposition, Übertragung auf andere reale Untergründe)
- V. Weiterentwicklung des bruchmechanischen Bewertungskonzeptes  
(Untersuchung dreidimensionaler Werkstofffehlergeometrien, Werkstofffehler bei zylindrischen Behälterformen, Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen mit vorgeschädigten Bauteilen)
- VI. Verifizierung des Sicherheitskonzeptes  
(Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Fallversuchen mit vorgeschädigten Prototypbehältern sowie Vergleich mit Berechnungsergebnissen)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Die BAM hat das Projekt FORM III (Fkz. 02S8011) bei einem Fallversuch aus 5 m Höhe mit einem MOSAIK FORM III mit künstlichen Kerben als Vorschädigung unterstützt.
- Die Fallversuche mit definiert vorgeschädigten Hohlprofilen der Serien B und C wurden vorbereitet (u.a. Planung der Kühlung von 3,8 Mg schweren Gussteilen auf  $-40^{\circ}\text{C}$ ).
- Die Arbeiten zur Erweiterung des Beurteilungskonzeptes auf die Bewertung von rissartigen Fehlern in zylindrischen Behältern wurden abgeschlossen. Die für die Abschätzungsmethode verwendeten bekannten statischen Risslösungen wurden z.T. hinsichtlich des durch die Lösung abgedeckten Parameterbereiches erweitert. Dazu wurden Finite-Elemente-Modelle von zylindrischen Behältern mit Rissen erstellt und berechnet. Die gefundenen Ergebnisse wurden mit den Lösungen aus der Literatur im bisherigen Parameterbereich verifiziert. Die Verwendung dieser statischen Lösungen bei der Abschätzung von Spannungsintensitätsfaktoren unter Falltestbedingungen wurde dann durch den Vergleich mit dynamisch berechneten Spannungsintensitätsfaktoren erfolgreich erprobt. Es hat sich gezeigt, dass sich das entwickelte sicherheitstechnische Bewertungskonzept neben den zuvor untersuchten Querrissen auch auf Längsrisse anwenden lässt.
- Im vorhergehenden Zwischenbericht wurde dargestellt, dass der Werkstoff der Hohlprofile der Serie C sich als vergleichsweise duktil herausgestellt hat. Das zunächst verfolgte Lösungskonzept der Herstellung neuer Testobjekte in einer Serie D aus einem spröderen Werkstoff, an dem sich bei einer Temperatur von  $-20^{\circ}\text{C}$  noch gültige Bruchzähigkeitskennwerte ermitteln lassen, wurde nicht weiter verfolgt. Im Projekt FORM III durchgeführte bruchmechanische Untersuchungen an dem Werkstoff haben ergeben, dass an den interessierenden Stellen mit den künstlichen Kerben bei einer Temperatur von  $-40^{\circ}\text{C}$  Sprödbbruchbedingungen vorliegen. Die Temperatur für die Ermittlung von Bruchzähigkeitskennwerten an Proben und bei den Fallversuchen mit den Hohlprofilen wurde daraufhin einheitlich auf  $-40^{\circ}\text{C}$  abgesenkt. Damit wird die aufwändigere Ermittlung von Kennwerten auf der Grundlage des J-Integrals vermieden.
- Mit der numerisch sehr aufwändigen dynamischen dreidimensionalen Berechnung eines Hohlprofils mit Bestimmung des Spannungsintensitätsfaktors des halbelliptischem Oberflächenrisses unter Falltestbedingungen wurde die Praxistauglichkeit der vorgeschlagenen Bewertungsmethode erfolgreich demonstriert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung und Auswertung der Fallversuche mit künstlich vorgeschädigten Hohlprofilen: Numerische Simulation der Fallversuche zur Berücksichtigung des Auftreffwinkels beim Versuch, Ermittlung der dynamischen bruchmechanischen Belastung an den rissartigen Fehlstellen, Festlegung der jeweils nächst höheren Fallhöhe in der Versuchsserie
- Fortsetzung der Beanspruchungsanalyse zu Innenmassen
- Fortsetzung der Übertragbarkeitsbetrachtungen auf andere reale Untergründe
- Vorbereitung der Verifikationsversuche mit Großbehältern

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Zencker, U., Qiao, L., Droste, B.: Assessment of Dynamically Loaded Cracks in Fillets, Proc. 15th European Conference of Fracture (ECF 15), Stockholm, August 11-13, 2004.

Zencker, U., Qiao, L., Droste, B.: Development of Assessment Methods for Transport and Storage Containers With Higher Content of Metallic Recycling Material, Proc. PATRAM 2004, Berlin, September 20-24, 2004, Paper #119.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Brenk Systemplanung GmbH, Heider-Hof-Weg 23, 52035 Aachen		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 S 8031</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Aufbereitung mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.12.2001 bis 31.12.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 231.937,27 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr.-Ing. Klein	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zielsetzung des Vorhabens ist es, eine mobil einsetzbare Pilotanlage zur Aufbereitung von radioaktiv kontaminierten Bauschutt bzw. mineralischen Reststoffen zu entwickeln.

Die Entwicklung der Verfahrenstechnik erfolgt mit der übergeordneten Zielsetzung, Kosteneinsparungen bei Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen, vor allem solcher im Geschäftsbereich des BMBF, BMWA (aber auch privatwirtschaftlicher Energie-Versorgungsunternehmen) zu erreichen, indem der Anteil an endzulagernden Bauschutt durch Separierung nicht-radioaktiver Stoffe reduziert wird.

Im ersten Teil des Vorhabens kommen die als Einstiegs-Testmaterial besonders geeigneten COMAS-Reststoffe (Testmaterial aus der Simulation von Kernschmelzen) zum Einsatz. Im zweiten Teil wird das Versuchsprogramm auf mengenmäßig bedeutende kontaminierte Bauschutte ausgeweitet. Die Anlage wird im Rahmen des geplanten Vorhabens bis zur kommerziellen Einsatzfähigkeit entwickelt werden.

Dieses Vorhaben wird im Verbund mit folgenden Vorhaben durchgeführt:

- 02 S 8041 der Siempelkamp Nukleartechnik GmbH (SNT)
- 02 S 8051 der Wismut GmbH (W)
- 02 S 8061 des Forschungszentrum Jülich - Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik (ISR)
- 02 S 8071 der RWTH Aachen - Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe (AMR)

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### Phase I bis III: Erarbeitung der Grundlagen der Aktivitätsseparation (Testmaterial: COMAS-Reststoffe)

- AP I/2: Literaturrecherchen zum Stand der Technik der Verfahren bzw. Techniken zur Behandlung mineralischer kontaminierter Reststoffe, des Bauschuttrecycling beim Rückbau von Kernkraftwerken und der KEMA-Anlage
- AP I/3: Unterstützung bei der Charakterisierung der COMAS-Reststoffe
- AP M: Marktanalyse zur Aktivitätsseparation
- AP II/2: Unterstützung bei der Installation und Inbetriebnahme der trockenen mechanischen Verfahrenstechnik in der CARLA-Halle
- AP II/3: Konzept und Spezifikation des notwendigen Arbeitsschutzes zur Verarbeitung von kontaminierten Materialien
- AP III/2: Charakterisierung der Stoffströme nach der Separation
- AP III/3: Bewertung des Separationserfolges

**Phase IV bis VI: Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik, Herstellung der kommerziellen Betriebstauglichkeit (Testmaterial: diverse Bauschutttypen)**

- AP IV/1 und IV/2: Probenbeschaffung und bei Bedarf Unterstützung bei der Charakterisierung der Bauschuttproben und bei entsprechenden Laborversuchen zur trockenen mechanischen Aufbereitung
- APVI/1: Optimierung und Bewertung der Pilotanlage im Hinblick auf verfahrenstechnische und betriebswirtschaftliche Kosten im Zusammenhang mit volkswirtschaftlichen bzw. externen Kosten
- AP VI/3: Unterstützende Arbeiten zur Durchführung diverser Genehmigungs- und Zulassungsverfahren als Voraussetzung für die kommerzielle Einsatzfähigkeit der Anlage zur Aktivitätsseparation

**3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Ergänzend zu den im ersten Halbjahr durchgeführten Testreihen mit aktiviertem Schwerbeton aus dem Biologischen Schild des Forschungsreaktors (FRJ-1) Merlin und Bauschutt/Beton aus dem Rückbau des Brennstoffzellenlabors (BZL) wurde für die weitere Testphase im zweiten Halbjahr 2004 noch weiteres kontaminiertes Material aus anderen kerntechnischen Anlagen, insbesondere aus Rückbauprojekten akquiriert. Bei der Durchführung der Versuchsreihen vor Ort wurde das AMR personell und bei der Bewertung der Ergebnisse unterstützt.

Die Versuche zeigten Separationserfolge von z. T. deutlich über 50 %, wobei der erzielbare Separationserfolg u. a. von der Art und der Anzahl der Behandlungsschritte bis zur Aufbereitung mit AST abhängt. D. h. häufige Behandlungsschritte, bei denen das Material gebrochen bzw. umgeschüttet wird, führen zu einer Homogenisierung der Aktivitätsverteilung, wodurch die Abtrennung freigebarter Materialchargen erschwert wird. Dies zeigt, dass eine frühzeitige Beteiligung bei der Planung von Rückbauarbeiten den Anfall radioaktiver Abfälle deutlich minimieren kann.

Auf Basis der erzielten Ergebnisse erfolgte gemäß AP VI/1 die Optimierung und Bewertung der Pilotanlage im Hinblick auf die verfahrenstechnischen und betriebswirtschaftlichen Kosten im Zusammenhang mit volkswirtschaftlichen bzw. externen Kosten. Diese Arbeiten stellten auch eine Fortführung der Marktanalyse gemäß AP VI dar. Dabei zeigte sich, dass die Anlage marktwirtschaftlich betrieben werden kann.

**4. Geplante Weiterarbeiten**

Der Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben ist zu erstellen und es soll die AST-Technologie durch den Einsatz bei Rückbauprojekten kerntechnischer Anlagen als Dienstleistung vermarktet werden. In diesem Rahmen wird AST auf mehreren Fachtagungen bzw. in Fachgesprächen präsentiert.

**5. Berichte, Veröffentlichungen**

Meier-Kortwig, Diedenhofen, Maischak, Fachinger, Schartmann, Kießig, Schreiter:  
Aufbereitung radioaktiver mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation, Tagungsband KONTEC 2003, S. 656

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Siempelkamp Nukleartechnik GmbH, Siempelkampstr. 45, 47803 Krefeld		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8041</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Aufbereitung mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.12.2001 bis 30.12.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 470.670,29 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr.-Ing. Meier-Kortwig	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zielsetzung des Vorhabens ist es, eine mobil einsetzbare Pilotanlage zur Aufbereitung von radioaktiv kontaminierten Bauschutt bzw. mineralischen Reststoffen zu entwickeln.

Die Entwicklung der Verfahrenstechnik erfolgt mit der übergeordneten Zielsetzung, Kosteneinsparungen bei Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen, vor allem solcher im Geschäftsbereich des BMBF, BMWA (aber auch privatwirtschaftlicher Energieversorgungsunternehmen) zu erreichen, indem der Anteil an endzulagernden Bauschutt durch Separierung nicht-radioaktiver Stoffe reduziert wird.

Im ersten Teil des Vorhabens kommen die als Einstiegs-Testmaterial besonders geeigneten COMAS-Reststoffe (Testmaterial aus der Simulation von Kernschmelzen) zum Einsatz. Im zweiten Teil wird das Versuchsprogramm auf mengenmäßig bedeutende kontaminierte Bauschutte ausgeweitet. Die Anlage wird im Rahmen des geplanten Vorhabens bis zur kommerziellen Einsatzfähigkeit entwickelt werden.

Dieses Vorhaben wird im Verbund mit folgenden Vorhaben durchgeführt:

- 02S8051 der Wismut GmbH (W)
- 02S8031 der Brenk Systemplanung GmbH (BS)
- 02S8061 des Forschungszentrums Jülich - Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik (ISR)
- 02S8071 der RWTH Aachen - Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe (AMR)

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### Phase I bis III: Erarbeitung der Grundlagen der Aktivitätsseparation (Testmaterial: COMAS-Reststoffe)

- API/1: Einholung der zur Durchführung des Vorhabens notwendigen Genehmigungen
- API/3 bis I/5: Unterstützende Arbeiten zur Charakterisierung der COMAS-Reststoffe (Testmaterial der ersten Vorhabenshälfte), zu den Laborversuchen und zur Auswahl der Verfahrenstechnik zur Aufbereitung der COMAS-Reststoffe
- APII/1, II/2: Unterstützende Arbeiten bei der Installation und Inbetriebnahme der trockenen mechanischen Verfahrenstechnik in der CARLA-Halle
- APII/3: Spezifizierung und Konzeptionierung des notwendigen Arbeitsschutzes zur Verarbeitung von kontaminierten Materialien

APIII/1 bis III/3:	Unterstützende Arbeiten zur Optimierung der trockenen mechanischen Verfahrenstechnik (Aufbereitungstests, Charakterisierung der Stoffströme)
APIII/4:	Optimierung des Verfahrensgangs anhand größerer Probemengen (Aufbereitung der gesamten COMAS-Reststoffe)
<b>Phase IV bis VI:</b>	<b>Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik, Herstellung der kommerziellen Betriebstauglichkeit (Testmaterial: diverse Bauschutttypen)</b>
APIV/1, IV/2:	Unterstützende Tätigkeiten bei der Charakterisierung bedeutender Bauschuttproben und bei entsprechenden Laborversuchen zur trockenen mechanischen Aufbereitung
AP V, VI/1, VI/2:	Unterstützende Arbeiten zur Erweiterung, Modifizierung und Optimierung der Anlagentechnik sowie Auslegung und Realisierung als mobile Einheit
AP VI/3:	Unterstützende Arbeiten zur Durchführung diverser Genehmigungs- und Zulassungsverfahren als Voraussetzung für die kommerzielle Einsatzfähigkeit der Anlage zur Aktivitätsseparation
AP KO:	Koordination des gesamten Verbundvorhabens

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im 2. Halbjahr 2004 erfolgte die Erprobung der „AST“-Anlage am FZ-Jülich durch den Projektpartner RWRH-AMR. Hierbei unterstützte ihn SNT bei der Beschaffung von Probenmaterialien, Auswertung der Ergebnisse, Erneuerung der Wirtschaftlichkeitsanalyse sowie Reinigung und Transport der Anlage auf das Gelände von SNT.

Insgesamt konnten bei der Erprobung der AST-Anlage Ergebnisse mit Separationserfolgen von zum Teil deutlich über 50 % erzielt werden. Grundsätzlich zeigte sich, dass die erzielbaren Separationserfolge in Abhängigkeit von der Art der Aufgabematerialien stark schwanken.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die auf dem Gelände der SNT lagernde SNT-Anlage muss als Vorbereitung für einen neuen Einsatz abgereinigt und freigemessen. Hier übernimmt SNT die noch durchzuführenden Arbeiten. Weiterhin hat SNT in ihrer Funktion als Verbundleiter die Erstellung des Endberichtes federführend übernommen. Hier geht es insbesondere um die Zusammenführung der Arbeitsergebnisse der einzelnen Partner.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

AST-SNT-B01: Arbeitsbericht - Erfahrungswerte der Testsortierung

Meier-Kortwig, Diedenhofen, Schartmann et.al.: „Aufbereitung radioaktiver mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation“, KONTEC 2003 – 6. Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“, Berlin

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Templergraben 55, 52056 Aachen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8071</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Aufbereitung mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.12.2001 bis 31.12.2004	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 851.125,10 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Wotruba	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zielsetzung des Vorhabens ist es, eine mobil einsetzbare Pilotanlage zur Aufbereitung von radioaktiv kontaminierten Bauschutten bzw. mineralischen Reststoffen zu entwickeln.

Die Entwicklung der Verfahrenstechnik erfolgt mit der übergeordneten Zielsetzung, Kosteneinsparungen bei Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen, vor allem solcher im Geschäftsbereich des BMBF, BMWA (aber auch privatwirtschaftlicher Energie-Versorgungsunternehmen) zu erreichen, indem der Anteil an endzulagernden Bauschutten durch Separierung nicht-radioaktiver Stoffe reduziert wird.

Im ersten Teil des Vorhabens kommen die als Einstiegs-Testmaterial besonders geeigneten COMAS-Reststoffe (Testmaterial aus der Simulation von Kernschmelzen) zum Einsatz. Im zweiten Teil wird das Versuchsprogramm auf mengenmäßig bedeutende kontaminierte Bauschutte ausgeweitet. Die Anlage wird im Rahmen des geplanten Vorhabens bis zur kommerziellen Einsatzfähigkeit entwickelt werden.

Dieses Vorhaben wird im Verbund mit folgenden Vorhaben durchgeführt:

- 02S8051 der Wismut GmbH (W)
- 02S8031 der Brenk Systemplanung GmbH (BS)
- 02S8061 des Forschungszentrums Jülich - Institut für Sicherheitsforschung und Reaktortechnik (ISR)
- 02S8041 der Siempelkamp Nukleartechnik GmbH (SNT)

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

<b>Phase I bis III:</b>	<b>Erarbeitung der Grundlagen der Aktivitätsseparation (Testmaterial: COMAS-Reststoffe)</b>
API/1:	Beschaffung von technischen Einrichtungen für die Vorversuche
API/2:	Literaturrecherche zur konventionellen Aufbereitung von Bauschutten und zur Uranerzaufbereitung. Recherche zur FRANKA- Zerkleinerungsanlage
API/3:	Überprüfung und Bewertung der ausgewählten Proben. Auswahl, Beschaffung und Analyse von nicht aktiviertem Versuchsmaterial
API/4:	Laborversuche zu den Verfahrensschritten der mechanischen Aufbereitung. Technikumsversuche zur Zerkleinerung, Klassierung und Sortierung
API/5:	Auswahl der Verfahrenstechnik zur Aufbereitung der COMAS-Reststoffe
APII/1, II/2:	Komponentenbeschaffung und Aufbau einer lauffähigen Prozesskette zur Aufbereitung der COMAS-Reststoffe
APIII/1 bis III/4:	Weitere Aufbereitungstests und Aufbereitung der gesamten COMAS-Reststoffe
<b>Phase IV bis VI:</b>	<b>Weiterentwicklung der Verfahrenstechnik, Herstellung der kommerziellen Betriebstauglichkeit (Testmaterial: diverse Bauschutttypen)</b>

- APIV/1, IV/2: Charakterisierung bedeutender Bauschuttproben und Durchführung von Laborversuchen zur trockenen mechanischen Aufbereitung
- AP V, VI/1, VI/2: Erweiterung, Modifizierung und Optimierung der Anlagentechnik sowie Auslegung und Realisierung der Pilotanlage als mobile Einheit mit modularem Aufbau.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Nach Abschluss der Versuche mit aktiviertem Material wurde die AST Anlage umgebaut, um radioaktiv kontaminierte Rückbauabfälle zu verarbeiten.

Um eine möglichst zuverlässige Basis für die Funktionsweise der AST Anlage zu gewinnen und um den Separationserfolg näher bestimmen zu können, wurden die Versuche mit verschiedenen radioaktiven Bauschutttypen, die sich hinsichtlich der Materialeigenschaften, der Kontaminationsart und des Kontaminationsniveaus unterschieden, erprobt. Für die Durchführung der AST Versuche stand sowohl Material aus dem Forschungszentrum Jülich als auch Material aus externen Rückbauprojekten zur Verfügung.

Zuerst wurde untersucht, ob die im Beton enthaltene Aktivität überwiegend an den Zementstein gebunden war. Dazu wurde eine Schwerbetonprobe selektiv zerkleinert und klassiert. Es wurde festgestellt, dass durch die Abtrennung des Feingutes die spezifische Aktivität im Siebüberlauf um rund 24 % reduziert wurde. Dies reichte jedoch unter Berücksichtigung des Nuklidvektors nicht aus um diese Fraktion freigeben zu können. Insbesondere die im gesamten Versuchsmaterial enthaltenen Hot-Spots blieben von diesen Verfahrensschritten unberührt und wurden nicht abgetrennt.

Dies konnte erst durch den Einsatz der radiometrischen Sortierung gewährleistet werden. So wurde z.B. bei einer anderen Schwerbetonprobe mit einer spezifischen Ausgangsaktivität von 3,0 Bq/g Cs-137 in dem von der radiometrischen Sortierung erzeugtem Material zur uneingeschränkten Freigabe die spezifische Aktivität auf 0,30 Bq/g Cs-137 reduziert (Massenanteil 24,5 Gew.-%), womit die Freigabewerte zur uneingeschränkten Freigabe nach StSchV zu 69 % und zur eingeschränkten Freigabe nur zu 12 % ausgeschöpft wurden. In der Fraktion zur Deponiefreigabe (Massenanteil 24,3 Gew.-%) wurde die spezifische Aktivität auf 1,02 Bq/g Cs-137 reduziert, womit die Ausschöpfung der Freigabewerte nach Spalte 9 StSchV bei 40 % lag. Im dem von der radiometrischen Sortierung erzeugten Produkt 3 (Massenanteil 7,7 Gew.-%) wurde die spezifische Aktivität durch die enthaltenen Hot-Spots auf mehr als den fünffachen Wert der Ausgangsaktivität angereichert. Im Feingut (37,8 Gew.-%), das vor der radiometrischen Sortierung abgetrennt wurde, wurde eine Verdopplung der spezifischen Aktivität beobachtet.

Bei der Verarbeitung von Versuchsmaterial aus anderen Herkunftsbereichen, die zum Teil deutlich oberhalb der Freigabewerte nach StSchV lagen, konnten die Ergebnisse bestätigt werden. Abhängig von den Materialeigenschaften, der Kontaminationsart, des Kontaminationspfades und der Verteilung der Kontamination wurden Separationserfolge durch den Einsatz der AST-Verfahrenstechnik von 20 – 70 % erreicht.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Auswertung der durchgeführten Pilotversuche. Bewerten von Optimierungspotentialen der AST Verfahrenstechnik sowie Planung möglicher verfahrenstechnischer Anpassungen der AST Anlage. Verfassen von Ergebnisberichten und Veröffentlichungen sowie Abschluss des Projektes.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Meier-Kortwig, Diedenhofen, Schartmann et.al.: „Aufbereitung radioaktiver mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation“, KONTEC 2003 – 6. Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“, Berlin

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstraße 21, 80290 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8081</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2001 bis 30.06.2005		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 468.152,14 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Bücherl

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Gemeinschaftsvorhabens mit dem Forschungszentrum Jülich GmbH ist sowohl die auf einer Kategorisierung von Rückbauabfällen und eingesetzter Messmethoden basierende Entwicklung eines Softwarepakets zur Reduktion des Aufwands für Kalibrierung, Auswertung und QA/QC als auch die Verbesserung von Präzision und Richtigkeit bei der Deklaration und Freimessung der Abfälle. Damit kann der Anwender Informationen oder Angaben zum individuellen Messobjekt bei der Inventaranalyse quantitativ verwerten. So lassen sich die Unsicherheiten bzgl. der Übereinstimmung der Eigenschaften des Messobjektes und der verwendeten Kalibrierung deutlich reduzieren.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Geplante Arbeitsschritte sind:

1. Erstellung der Gesamtkonzeption, der Festlegung von Randbedingungen und Einzelzielen sowie der Auswahl von geeigneten Analyse- und Auswertemethoden. (AP 1)
2. Erweiterung und Modifikation des vorhandenen Messsystems für Freimessaufgaben. (AP 2)
3. Entwicklung von Programmmodulen für die Erzeugung beliebiger Objekte und die Berechnung des Photonenflusses für ein beliebiges Referenzobjekt sowie von verschiedenen benötigten Hilfs- und Testprogrammen und von Datenbankmodulen. (AP 3 und 4)
4. Erprobung der Leistungsfähigkeit des Gesamtprogramms. (AP 6 und 7)
5. Erstellung von Abschlussbericht und Dokumentation.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Das im Rahmen des FuE-Vorhaben entwickelte Programmpaket „SWGamma“ besteht aus einer einheitlichen Oberfläche, in die einzelne Module eingebunden sind. Diese Module übernehmen jeweils eine spezifische Aufgabe (z. B. Detektorsimulation, Messsimulation, Varianzanalyse etc.) und werden zunächst weitestgehend unabhängig von der Oberfläche entwickelt. Eine Einbindung erfolgt erst nach einem erfolgreichen externen Funktionstest des Moduls. Hierbei wird auch die genaue Schnittstellenbeschreibung festgelegt.

Im Berichtszeitraum wurde das Modul zur automatischen Analyse von Zählratenverteilungen aus dem segmentierten Gamma-Scanning Tests realen und simulierten Messergebnissen für verschiedenste Messobjekte unterworfen. Dabei konnten zahlreiche Verbesserungen des Codes vorgenommen und etliche Sonderfälle berücksichtigt werden. Nach diesen Tests wurde die Schnittstelle zur Einbindung des Moduls in die Oberfläche festgelegt und von dem im Unterauftrag tätigen Ingenieurbüro Marschelke, Reichenau, umgesetzt. Die Integration des Analysemoduls vereinfacht die Durchführung weiterer Tests erheblich, da nun der Zeitaufwand für die Konvertierung und Bereitstellung von Messdaten für das externe Modul entfällt. Umfangreiche Tests mit weiteren realen Messdaten werden aktuell durchgeführt, um die automatische Analyse weiter zu verbessern.

Das Ergebnis der Analyse von Zählratenverteilungen sind Parametersätze mit geometrischen Informationen über mögliche Aktivitätsverteilungen im Messobjekt. Derzeit werden diese Informationen noch manuell in entsprechende Objektmodelle umgesetzt, die als Ausgangspunkte für die Simulation der jeweiligen Messungen mit dem bereits Anfang 2004 eingebundenen Simulationsmodul dienen. Die Ergebnisse (Zählratenverteilungen) dienen als Eingabedaten für ein externes Programmmodul, welches durch Vergleich der realen Messdaten mit den Simulationsergebnissen die Aktivitäten und deren Verteilung im Objektmodell sowie über einen Güteparameter die Qualität der so bestimmten Lösungen berechnet.

Ein Modul zur Verknüpfung von Daten aus unterschiedlichen Quellen (Messungen, a-priori Informationen etc.) wurde erstellt und in die Oberfläche eingebunden. Es erlaubt in der derzeitigen Ausführung eine Verknüpfung von Massenangaben und geometrischen Informationen. Neben einem Plausibilitätstest der verschiedenen Informationen können auf der Grundlage der verknüpften Daten die in der automatischen Analyse der Zählratenverteilung bestimmten Wertebereiche der verschiedenen Parameter z. T. deutlich eingeschränkt werden.

Das externe Modul zur automatischen Auswertung von Messdaten aus der Digitalen Radiographie wurde weiter entwickelt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die weiteren Arbeiten betreffen hauptsächlich die Vollendung der externen Module für die automatische Erstellung von Objektmodellen auf der Grundlage der Ergebnisse der automatischen Analyse der Zählratenverteilungen aus dem segmentierten Gamma-Scanning sowie der automatischen Analyse der Auswertung der Messdaten aus der Digitalen Radiographie und ihre Einbindung in die gemeinsame Oberfläche. Nach der Einbindung des Aktivitätsbestimmungsmoduls ist das Programmpaket noch durch die Ergebnispräsentation und –dokumentation zu ergänzen.

Parallel zu den Programmierarbeiten wird die Dokumentation für die Software erstellt. Umfangreiche Tests sollen die Leistungsfähigkeit der entwickelten Software demonstrieren.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8091</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2001 bis 30.06.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 357.480,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Caspary	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Gemeinschaftsvorhabens mit der TU München ist sowohl die auf einer Kategorisierung von Rückbauabfällen und eingesetzter Messmethoden basierende Entwicklung eines Softwarepakets zur Reduktion des Aufwands für Kalibrierung, Auswertung und QA/QC als auch die Verbesserung von Präzision und Richtigkeit bei der Deklaration und Freimessung der Abfälle. Damit kann der Anwender Informationen oder Angaben zum individuellen Messobjekt bei der Inventaranalyse quantitativ verwerten. So lassen sich die Unsicherheiten bzgl. der Übereinstimmung der Eigenschaften des Messobjektes und der verwendeten Kalibrierung deutlich reduzieren.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Geplante Arbeitsschritte sind:

1. Kategorisierung von Rückbauabfällen und Messmethoden.
2. Entwicklung eines Programmmoduls zur Charakterisierung eines beliebigen Detektorsystems.
3. Erweiterung des vorhandenen Messsystems für Freimessungen.
4. Erprobung der Leistungsfähigkeit des Gesamtprogramms.

### **3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Die Optimierungen am Modul zur Simulation des Ansprechvermögens von Freimessanlagen und die Validierungen gegen MCNP (einem Monte-Carlo-Vergleichsstandard für Gamma- und Neutronentransport) wurden abgeschlossen. Mit der Dokumentation dieses Moduls und der Dokumentation des Effizienzmoduls bestehend aus Simulationsmodul, Interpretations- und Interpolationsmodul wurde begonnen.

Die Umstellung der Software des Tomografiesystems des FZJ auf ein 32-Bit-System wurde begonnen. Dies ermöglicht den Zugang zu Primärdaten für die Validierung des Gesamtsoftwaresystems.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Arbeiten zur Validierung des Gesamtprogramms. Diese umfassen im Wesentlichen:

Punktquelleneffizienzmessungen, Gamma-Scanning-Messungen, Tomografien und Freimesungen mit verschiedenen Systemen zur Erarbeitung einer Datenbasis für die Validierung und Bewertung der Leistungsfähigkeit des Gesamtprogramms.

Dokumentation und Abschlussbericht.

### **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Development of a Software Package for Improving Accuracy and Precision in Non-Destructive Declaration of Radioactive Waste', Sixth International Conference on Nuclear and Radiochemistry, 29 August to 3 September 2004, Aachen, Germany

,Improvement of Accuracy and Precision in non-destructive Assay of Waste from Decommissioning of Nuclear Installations', Waste Management 2004 Conference, February 29 - March 4, 2004, Tucson, AZ

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8102</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Erweiterung der Einsatzgrenzen modularer Schneidtechnologien für den kostengünstigen Rückbau kerntechnischer Anlagen, EMOS		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.03.2002 bis 28.02.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.377.402,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Bach	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziel ist die Entwicklung und Qualifizierung von Schneidwerkzeugen für den Rückbau kerntechnischer Anlagen. Es werden Laserstrahlschneiden, Wasserabrasivstrahlschneiden (WAS) und Kontakt-Lichtbogen-Metall-Trennschleifen (CAMG) über ihre bisherigen Einsatzgrenzen hinaus weiter entwickelt und hinsichtlich der Schadstoffemissionen sowie des kostengünstigen und flexiblen Einsatzes optimiert. Ausgerichtet an den Bedürfnissen des Rückbaus werden personengebundene und fernhantierbare Schneidwerkzeuge entwickelt, die sich durch ihren modularen Aufbau und eine integrierte Prozess- und/oder Ergebniskontrolle (In-situ-Messung) auszeichnen. Die drei Schneidtechniken decken den Großteil der Rückbauaufgaben, angefangen bei Betonteilen (WAS), über Dünnblech- (Laser), bis hin zum Dickblechbereich (WAS, CAMG), sowohl an Atmosphäre und als auch unter Wasser ab. Der modulare Aufbau gewährleistet eine schnelle Anpassung an die unterschiedlichen Aufgaben.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

#### 1. Laserstrahlschneiden

- 1.1 Voruntersuchungen zur Entwicklung eines Modul-Baukasten-Systems.
- 1.2 Erweiterung der Leistungsfähigkeit des handgeführten Laserstrahlschneidens.
- 1.3 Aufbau eines Regelkreises zur Nachführung wichtiger Prozessparameter bei Auftreten von Prozessinstabilitäten.
- 1.4 Entwicklung und Erprobung eines flexiblen Modul-Baukasten-Systems für den Einsatz im Rückbau kerntechnischer Anlagen.

#### 2. Wasserabrasivstrahlschneiden

Einsatz des Wasserabrasivinjektor- /suspensionsstrahlschneiden an Atmosphäre und unter Wasser.

#### 3. Contact-Arc-Metal-Grinding

- 3.1 Entwicklung und Aufbau einer CAMG-Schneideinrichtung zur Zerlegung metallischer Reaktorkomponenten.
- 3.2 Entwicklung eines hydrodynamischen Schutzmantelsystems zur Reduzierung der Wasserverunreinigungen.
- 3.3 Entwicklung neuer CAMG-Werkzeugelektroden hinsichtlich neuer Geometrien und Beschichtungen.
- 3.4 Untersuchungen des Werkzeugelektrodenverschleißes und Bestimmung der relevanten Schneidparameter.
- 3.5 Entwicklung eines Sensormoduls zur Bestimmung des Werkzeugelektrodenverschleißes, Entwicklung einer Nachführeinheit und Konzipierung einer Regelung.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### Laserstrahlschneiden

- Untersuchungen zur Regelung des Schneidprozesses an 2 mm bis 5 mm dicken Blechen:  
Für geringe Blechdicken von 2 mm konnte Laserleistung erfolgreich geregelt werden. Für vorgegebene Vorschubgeschwindigkeiten bis 1,5 m/min wird die Laserleistung so geregelt, dass ein sicherer Durchschnitt gewährleistet ist. Untersuchungen an dickeren Blechen blieben aufgrund der noch zu niedrigen Regelungsfrequenz unter dem Betriebssystem Windows XP von etwa 200 Hz und des noch relativ einfach aufgebauten Reglers erfolglos.

- Integration der Sicherheitssensorik, des Motion-Controllers, der Handstart- und Wahltafter ins Laserhandgerät (LHG):  
Ergonomische Griffhülsen nehmen Bedienelemente auf und führen Versorgungsleitungen im Laserhandgerät. Besondere Spiegelkonstruktion im LHG ermöglicht schnelle Adaption an unterschiedlichste Randbedingungen und ermöglicht Gewichtseinsparung.

#### Wasserabrasivstrahlschneiden

- Mit ergänzenden Untersuchungen konnte die Durchschneidkontrolle mittels Körperschallsensoren beim WASS-Verfahren qualifiziert werden. Für die Abschirmung und Absaugung des reflektierten Schneidstrahls sind Untersuchungen durchgeführt worden. Dabei konnte eine fast vollständige Absaugung des eingesetzten Wassers und Abrasivmittels erzielt werden.
- Ein flexibles Schneidsystem für den mobilen Einsatz der beiden Wasserabrasivstrahlverfahren (WAIS und WASS) wurde aufgebaut und befindet sich derzeit in der Testphase. Durch den modularen Aufbau kann das System zwischen den beiden Verfahren schnell umgerüstet werden. Das Führungssystem, bestehend aus Führungsschienen und Stativen, ist beliebig verlängerbar und kann an unterschiedliche Schneidaufgaben in horizontaler wie auch vertikaler Richtung angepasst werden. Der entsprechende Schneidkopf wird inklusive Abschirmung an den Führungsschlitten adaptiert. Die Anpassung der Schneidgeschwindigkeit erfolgt stufenlos durch Drehzahländerung eines Antriebsmotors auf dem Führungsschlitten.

#### CAMG

- Die besten Ergebnisse bezüglich Verschleiß und Schneidleistung wurden mit Sintermetallsegmenten erzielt. Maximale Schnitttiefe war 100 mm, womit die Vorgaben im Antrag um 40% übertroffen wurden.
- Von dem beim CAMG-Prozess entstehenden Hydrosol und Sedimente wurden Proben genommen. Analysen ergaben, dass mehr als 10% des Schnittfugenmaterials zunächst in Schwebelösung bleibt und nur langsam sedimentiert.
- Zur Analyse der Strom- und Spannungsverläufe beim CAMG-Prozess wurden Schneidparameter variiert. Signifikant ist u. a. die Abhängigkeit des Prozessverhaltens von der Schneidgeschwindigkeit und der zur Verfügung gestellten elektrischen Leistung.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

#### Laserstrahlschneiden

- Untersuchungen zur Regelung an dicken Blechen
- Montage des Laserhandgerätes nach der Endprüfung und Fertigung
- Untersuchungen zum hyperbar-nassen Schneiden
- Entwicklung neuartiger Laserschneiddüsen und Untersuchung derselben mittels Schlierenverfahren und Druckmessungen. Qualifizierung der Düsen für Schneidprozesse an CrNi-Stahl und für den handgeführten Betrieb
- Erhöhung der Einsatzgrenzen beim Laserstrahlschneiden an Atmosphäre auf Blechdicken > 30 mm und Reduzierung der Staub- und Aerosolbelastung durch Minimierung der Schnittfugenbreite.

#### Wasserabrasivstrahlschneiden

- Untersuchungen zum Einfluss der hydraulischen Leistung auf Schneidleistung, Strahlstabilität und Strahlreichweite für beide Wasserabrasivstrahlverfahren (WAIS und WASS)
- Untersuchungen zum Einfluss von Abrasivmitteln und Polymerenadditiven auf die Schneidleistung, Strahlstabilität und Strahlreichweite bei beiden Strahlverfahren
- Entwicklung von geeigneten Schneidstrategien für das Schneiden von Hohlstrukturen.

#### CAMG

- Weitere Untersuchungen der vorhandenen Sediment- und Hydrosolproben
- Entwicklung einer geeigneten Vorschubstrategie für aufgezeichnete Strom- und Spannungsverläufe
- Aufbau einer Verschleissensorik, Ermittlung der maximal zu realisierenden Schnitttiefe
- Werkzeugoptimierung bezüglich Elektrodenwerkstoff und Geometrie
- Möglichkeiten und Grenzen beim Schneiden von doppel- und mehrwandigen Strukturen und beim Schneiden von Aluminium mittels CAMG
- Entwicklung eines CAMG-Handgerätes für den Atmosphäreinsatz und Praxistest.

### **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Verseman, R.; Fr.-W. Bach, G. Kremer, P. Brüggemann: Research and Development Results for Dismantling and Decontamination Application. Waste Management Symposium WM05, Tucson Arizona, 27. Februar – 3. März 2005

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8112</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Abdichtung von Wegsamkeiten in Salzformationen mit kristallisierenden Evaporitmineralen (AISKRISTALL)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2002 bis 30.06.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 994.956,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Engelhardt	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Für Endlager radioaktiver Abfälle und Deponien im Salzgestein soll ein arteigenes Verschlussmaterial entwickelt werden, das im Sinne eines Konstruktionswerkstoffes verwendet werden kann. Die Erhärtung basiert auf der Bildung von Salzhydraten in Folge der Reaktion von Evaporitmineralen mit salinaren Lösungen. Geeignete Rezepturen sind durch Indexversuche und geochemische Modellierungen zu identifizieren. Anschließend sind technologische Aspekte der Herstellung und hydraulischen Förderung auf der Basis von Labor- und Technikumsversuchen zu untersuchen. Das Materialverhalten ist auf der Grundlage mathematischer Modelle zu beschreiben, auf dessen Grundlage eine Sicherheitsnachweisführung möglich ist. Gefügeuntersuchungen sowie mineralogische Phasenanalysen erfolgen zur Absicherung von Prognosen über das Langzeitverhalten. Eine standortspezifische Auslegung einer Permeationsbarriere und ein Katalog von QS-Maßnahmen bilden den Projektabschluss.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Untersuchungsprogramm umfasst folgende Schwerpunkte:

- Identifikation geeigneter Rezepturen (Baustoffzusammensetzungen)
- Untersuchung der Verarbeitbarkeit und in-situ erreichbarer Qualitäten, z.B. der Festmaterialeigenschaften (Festigkeit, Steifigkeit, Dilatanz-, Kriechverhalten) sowie Permeabilität
- Entwicklung von Materialmodellen auf der Basis gezielter Untersuchungen zur Materialqualität
- Untersuchungen des Gefügebau und Phasenbestandes zur Absicherung von Prognosen zum Langzeitverhalten
- Modellhafte Auslegung einer Permeationsbarriere und Aufstellung eines Katalogs von Qualitätssicherungsmaßnahmen

### **3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Das Untersuchungsprogramm ist im wesentlichen abgeschlossen. Zwei Referenzrezepturen für SVV (selbstverheilenden Versatz) haben sich ergeben und wurden vollständig durchgetestet:

- $\text{MgSO}_4$  wasserfrei
- Material auf Kieserit-Basis und NaCl-Lösung.

Weitere Rezepturen wurden untersucht, die je nach Randbedingung (Wirtsgestein, Temperatur, Preis etc.) einsetzbar sind. Keines der Materialien ist unter allen Randbedingungen einsetzbar.

Die Förderfähigkeit wurde bei der Firma DMT über 5 Stunden erfolgreich untersucht, Förderfähigkeit liegt vor.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Das weitere Arbeitsprogramm kann in folgende Schwerpunkte gegliedert werden:

- Durchführung von Messungen zur Quantifizierung des Kriechverhaltens der Baustoffrezepturen
- Fortführung der Erstellung eines Kataloges von QS-Maßnahmen

Des weiteren wird mit der zusammenfassenden Bewertung und Dokumentation der Untersuchungsergebnisse begonnen.

### **5. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU Dresden, Mommsenstr. 13, 01062 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8122</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abprodukt-Konditionierung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2002 bis 31.07.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.475.389,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Knorr	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es wird die Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens vorgesehen, das der radioaktiven Dekontamination von Beton und Sedimenten im Oberflächenbereich dient. Dazu sollen Laser so eingesetzt werden, dass die Abtragung und die Konditionierung der abgelösten radioaktiven Partikel in einem Technologieschritt erfolgt.

Verbundprojekt mit Kooperationspartner Laserinstitut Mittelsachsen e.V. (LIM), Förderkennzeichen 02S8162 und Unterauftragnehmer der TUD: VKTA Rossendorf e.V.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP I: Zusammenstellung kontaminierter/aktivierter silikatischer Strukturen von kerntechnischen Anlagen einschließlich Charakterisierung der Materialeigenschaften, Radionuklide und Nuklidverteilung
- AP II: Auswahl von Referenzfällen für Laserablation
- AP III: Herstellung und Charakterisierung von silikatischen Referenzproben
- AP IV: Ermittlung technisch-technologischer Parameter der Laserablation an inaktiven Referenzproben
- AP V: Untersuchungen zur Konditionierung der Ablationsprodukte, gegebenenfalls unter Einsatz von Zusatzstoffen als Matrixbildner
- AP VI: Aufbau eines Leistungslasers im Kontrollbereich des Kernreaktors der TU Dresden
- AP VII: Laserablation mit simultaner Konditionierung radioaktiver Referenzproben
- AP VIII: Aufstellen der Aktivitätsbilanz
- AP IX: Charakterisierung der Ablationsprodukte
- AP X: Bewertung des Verfahrens hinsichtlich Anwendungsgebieten, verfahrenstechnischer Durchführbarkeit und Produktgüte.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Aufbau und Inbetriebnahme der Laseranlage einschließlich der peripheren Mess- und Steuertechnik an der TUD mit einer Gesamtstrahlleistung von  $> 5,1$  kW ist abgeschlossen. Beginn der experimentellen Arbeiten mit dieser Anlage.
- Adaption der Ergebnisse des Kooperationspartners LIM zum optimalen Abtragsregime.
- Fortführung der Untersuchungen zum Abdampf- und Kondensationsverhalten flüchtiger Nuklide (Cs, Co) im Hochtemperaturbereich bis  $1600^{\circ}\text{C}$  und unter Kurzzeitbedingungen (Minutenbereich). Ergebnis: Entwicklung und Erprobung einer selektiven Nuklidabscheidung im elektrischen Feld, um so die abdampfenden Radionuklide in unmittelbarer Nähe zum Entstehungsort in einer Kältefalle wieder zu fixieren (Patentanmeldung). Dadurch wird die Kontamination des Absaugsystems weitestgehend vermieden.
- Fortführung der Arbeiten zur Optimierung des Schmelzeabtrages. Ergebnis: Entwicklung und Erprobung neuer Düsenformen sowie Entwicklung und Erprobung einer elektromagnetischen Methode zum Abheben leitfähiger Schmelzen, wie Metall und metallhaltige Gemische (Patentanmeldung).
- Weiterführung der Arbeiten zur Analyse des Einflusses der Laserwellenlänge auf die selektive Nuklidfreisetzung aus der Schmelze.
- Fortführung der Arbeiten zur Entwicklung von Glasmatrixbildnern für Betonsorten, die nicht über hinreichend eigene Glasbilder verfügen, um so eine optimale Umhüllung der Abprodukte zu erreichen. Ergebnis: Bereitstellung von Gläsern mit angepassten Eigenschaften (Ausdehnungskoeffizient, Schmelztemperatur, Schmelzdynamik).
- Aufbau und Kalibrierung der Nuklidmesstechnik in Vorbereitung der Tests mit Radionukliden.
- Fertigstellung der Räume für die Lasertechnik im Kontrollbereich des Kernreaktors AKR-II als Voraussetzung für die Tests mit Radionukliden oberhalb der Freigrenze (Freigabe durch atomrechtliche Genehmigungsbehörde steht noch aus).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Planmäßige Fortführung der Arbeiten entsprechend Antrag mit folgenden Arbeitspaketen: AP V, VII und VIII - X; Schwerpunkte: Verstärkte Untersuchung des Ausgasungsverhaltens schmelzender Betonproben, Untersuchungen mit radioaktiven Proben, Aktivitätsbilanzen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine Veröffentlichungen, da Schutzrechtsanmeldung geplant.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66041 Saarbrücken		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8132</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2002 bis 31.07.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 495.416,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Löbrich	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat zum Ziel, eine auf mechanistischer Grundlage basierende Abschätzung der Gefährdung niedriger Dosen ionisierender Strahlung zu erhalten. Dazu sollen genetische Veränderungen im Bereich niedriger Dosen erfasst und in einen quantitativen Zusammenhang zur Strahlendosis gestellt werden. Die zu erhaltenden Ergebnisse werden eine kritische Überprüfung des gegenwärtig bei der Beurteilung des Strahlenrisikos angewandten „Linear-No-Threshold“-Modells zulassen und damit einen wichtigen Beitrag zur verbesserten Risikoabschätzung niedriger Strahlendosen leisten.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

In menschlichen Zellen sollen nach Exposition mit Röntgenstrahlung bzw. mit  $\alpha$ -Teilchen das Auftreten von DNA-Doppelstrangbrüchen (DSB), von stabilen und instabilen chromosomalen Veränderungen sowie von Mutationen quantifiziert werden.

Das Gesamtvorhaben wird in 8 Arbeitspakete eingeteilt:

Die Arbeitspakete 1 - 4 beinhalten Messungen zum Auftreten und zur Reparatur von DSB, wobei besonderes Gewicht auf Studien mit niedriger Strahlendosis oder niedriger Dosisleistung und auf Untersuchungen zur Fehlreparatur von DSBs und zur Reparatur von DSBs in definierten Genomregionen gelegt ist.

Die Arbeitspakete 5 und 6 beschreiben Studien zur Messung stabiler und instabiler chromosomaler Veränderungen. Dabei soll das Verfahren einer Vielfarben-Fluoreszenz-In-situ-Hybridisierung auf untransformierte, jedoch immortalisierte, menschliche Fibroblasten angewandt werden.

In den Arbeitspaketen 7 und 8 sind Studien zur Analyse strahleninduzierter Mutationen vorgesehen. Dabei sollen Zellen, die auf Grund der Bestrahlung einen Funktionsverlust des Hypoxanthin-Guanin-Phosphoribosyl-Transferase-(HPRT)-Gens aufweisen, am Selektionslocus molekular charakterisiert werden. Dies wird darüber Aufschluss geben können, welche molekularen Mechanismen der Schadensinduktion und -reparatur für das Auftreten strahleninduzierter Mutationen verantwortlich sind.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In früheren Berichten wurden die Ergebnisse zur Induktion und Reparatur von DSBs nach Röntgenbestrahlung (Arbeitspakete 1 und 2) diskutiert. Dabei wurde das in unserem Labor etablierte immunologische Verfahren eingesetzt, wobei auftretende DNA-Schäden mit fluoreszierenden Antikörpern nachgewiesen werden. Dabei werden einzelne DSBs sichtbar gemacht, so dass Strahlendosen von wenigen mGy einer experimentellen Untersuchung zugänglich sind. Weiterhin wurden nun Studien mit  $\alpha$ -Teilchen mit hohem linearem Energietransfer (LET) durchgeführt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass schon der Durchgang eines einzigen  $\alpha$ -Teilchens durch den Zellkern etwa 5 bis 10 DSBs hervorruft. Des weiteren sind die Schäden, die induziert werden, komplexer als nach Röntgenbestrahlung. Die Experimente wurden zunächst mit Fibroblasten durchgeführt, die mit 2 Gy  $\alpha$ -Teilchen un kollimiert bestrahlt wurden, wodurch  $\alpha$ -Teilchen aus verschiedensten Richtungen auf die Zellen treffen. Somit sind die Wegstrecken der  $\alpha$ -Teilchen nicht gleich, und die auf den Zellkern treffenden Teilchen besitzen unterschiedliche Energien. In der Immunfluoreszenzmikroskopie konnten dann hintereinander liegende  $\gamma$ -H2AX Foci beobachtet werden, die durch ein einzelnes  $\alpha$ -Teilchen entlang seiner Bahnspur durch den Zellkern erzeugt wurden. Eine Auszählung der  $\gamma$ -H2AX Foci zeigt, dass die durch  $\alpha$ -Teilchen induzierten DSBs

langsamer repariert werden als Brüche, die durch Röntgenstrahlung verursacht wurden (1). Erst nach 7 bis 14 Tagen waren in reparaturprofizienten Fibroblasten alle induzierten DSBs repariert. Um Reparaturstudien bei niedrigen Strahlendosen von 200 mGy (entspricht einem  $\alpha$ -Teilchen pro Zelle) und 50 mGy (entspricht einem  $\alpha$ -Teilchen in 4 Zellen) zu untersuchen, musste die Dosisleistung der  $\alpha$ -Quelle minimiert werden, so dass eine kollimierte Bestrahlungseinrichtung verwendet wurde. Die Reparaturkinetiken bei diesen Dosen stimmen im wesentlichen mit den 2 Gy-Reparaturkinetiken überein. Gegenwärtig werden  $\alpha$ -Teilchen-Bestrahlungen mit 10 mGy (entspricht einem  $\alpha$ -Teilchen in 20 Zellen) durchgeführt. Dabei zeigen erste Ergebnisse, dass nach einer langen Reparaturzeit von 7 Tagen immer noch ein Anteil unreparierter Brüche überbleibt und dass der Anteil der im Zellkern vorhandenen Brüche grösser ist als der Anteil der Brüche, die durch diese Dosis induziert werden sollte. Dies deutet darauf hin, dass es sich hierbei um sekundäre Brüche handelt, die in Zellen entstehen, die nicht von einem  $\alpha$ -Teilchen getroffen wurden. Somit können diese ersten Ergebnisse Hinweise für einen „Bystander-Effekt“ darstellen.

Für viele Fragestellungen ist es wichtig, Informationen über die Strahlendosis zu erhalten, der ein Mensch ausgesetzt war. Dies gilt insbesondere für niedrige Dosen, wie sie in der radiologischen Diagnostik auftreten. Zur Abschätzung der Strahlenbelastung kommen in der Regel physikalische und mathematische Dosimetrieverfahren zum Einsatz. Diese lassen jedoch im Gegensatz zu biodosimetrischen Ansätzen keine individuelle Dosisermittlung zu. Bisherige biodosimetrische Messungen der Strahlenbelastung beruhen im wesentlichen auf Chromosomenuntersuchungen in peripheren Blutlymphozyten von exponierten Personen. Allerdings ist dieses Dosimetrieverfahren nur bei Strahlenbelastungen oberhalb von 100 mGy verlässlich einsetzbar und zum Nachweis von diagnostischen Röntgenstrahlendosen im Bereich weniger mGy vollkommen ungeeignet. Das in unserem Labor etablierte immunfluoreszenzmikroskopische Verfahren, mit dem einzelne DSBs nach Einwirkung niedriger Strahlendosen nachgewiesen werden können (2), konnte kürzlich erfolgreich zum *in vivo*-Nachweis von strahleninduzierten DSBs in Lymphozyten des peripheren Blutes von Patienten nach Computertomographie (CT) - Bestrahlung eingesetzt werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Zahl der durch CT-Bestrahlungen induzierten DSBs in den peripheren Blutlymphozyten linear mit der applizierten Dosis ansteigt. Somit sind wir in der Lage, eine biologische Dosisbestimmung individuell für jeden einzelnen CT-Patienten vorzunehmen. Dabei wird von dem Patienten vor und nach der Bestrahlung Blut abgenommen, um anhand der in den Blutzellen induzierten Brüche die tatsächlich im Körper deponierte Strahlendosis zu ermitteln. Dazu wird parallel Blut mit radiodiagnostischen Strahlendosen zwischen 1 und 100 mGy *ex vivo* bestrahlt und die applizierte Strahlenmenge in einen numerischen Zusammenhang zur Anzahl induzierter DSBs gesetzt. Die so erhaltenen Induktionskurven dienen als Eichkurven für die Analyse von *in vivo*-bestrahltem peripherem Blut nach radiodiagnostischen Untersuchungen. Weiterhin kann abhängig von der initialen Strahlenschädigung nach einer CT-Untersuchung die DSB-Reparatureffizienz unter *in vivo*-Bedingungen ermittelt werden. Dabei zeigen die CT-Patienten *in vivo* ähnliche Reparaturkinetiken wie in Fibroblasten. 24 h nach Bestrahlung sind fast alle durch die CT-Untersuchung induzierten DSBs repariert. In den durchgeführten Experimenten ist eine Person aufgefallen, bei der zu jedem Reparaturzeitpunkt eine höhere Anzahl von Foci gemessen wurde als bei den anderen untersuchten Personen. Selbst nach 24 h zeigen die Lymphozyten dieses Patienten einen beträchtlichen Anteil von unreparierten Brüchen, was auf einen Reparaturdefekt hinweist. Bemerkenswert ist, dass dieser Patient bei einer früheren durchgeführten Strahlentherapie mit ungewöhnlich schweren Nebenwirkungen reagiert hat. Möglicherweise deuten diese Ergebnisse auf einen Zusammenhang zwischen der individuellen Reparaturkapazität von radiogen induzierten DSBs und dem Ausmaß strahlentherapeutischer Früh- und Spätnebenwirkungen hin.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im Arbeitspaket 1 sollen zur Untersuchung des „Bystander-Effektes“ weitere Kinetikstudien mit  $\alpha$ -Teilchen-Bestrahlung mit niedrigen Dosen von 10 mGy (entspricht einem  $\alpha$ -Teilchen in 20 Zellen) und 2 mGy (entspricht einem  $\alpha$ -Teilchen in 100 Zellen) durchgeführt werden. Des weiteren soll untersucht werden, ob nach Röntgenbestrahlung sekundäre Brüche auftreten. Erste Hinweise dafür traten bei Reparaturkinetiken mit 2 mGy Röntgenbestrahlung auf. Man findet bei kurzen Reparaturzeiten zunächst ein Abfall und dann zu späteren Reparaturzeiten ein Anstieg der Reparaturkurve, was darauf hindeutet, dass sekundäre Brüche auftreten. Zur genaueren Untersuchung dieses Anstiegs müssen nun Reparaturkinetiken durchgeführt werden, bei denen die Intervalle zwischen den einzelnen Reparaturpunkten sehr klein sind.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Riballo, E. (1), Kühne, M. (1), Rief, N. (1), Doherty, A., Smith, G.C.M., Reis, C., Dahm, K.; Fricke, A., Krempler, A., Jackson, S.P., Gennery, A., Jeggo, P.A. und Löbrich, M. (2004) *Molecular Cell* 16, 715-724 (1) Diese Personen teilen sich die Erstautorenschaft.

Rothkamm, K. und Löbrich, M. (2003) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100, 5057-5062

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstr. 21, 80290 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8142</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Selektive Tritium-Extraktion aus Wasser und Bindung auf einen Träger		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2002 bis 31.08.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.217.979,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Türler	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Gemeinschaftsvorhabens des Instituts für Radiochemie, TU München, mit dem Institut für Analytische Chemie, Chemo- und Biosensorik, der Universität Regensburg, ist die selektive Tritium-Extraktion aus Wasser und die Bindung von Tritium auf einem Träger. Bisher ist es nicht möglich das radioaktive Isotop Tritium aus tritiumhaltigen Prozesslösungen zu entfernen. Grundlage des vorliegenden Projekts ist die beobachtete Anreicherung von Tritium auf Biomolekülen von ca. einem Faktor 2. Im Projekt sollen die Mechanismen dieses Phänomens aufgeklärt und das darin enthaltene Anwendungspotential auf anorganische Tritiumakzeptoren übertragen werden. Besondere Beachtung muss dabei der Tritium-Analytik in wässrigen Systemen durch das Studium des Wasserstoff-Isotopieeffekts bei der Solvent-Solute-Trennung geschenkt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Geplante Arbeitsschritte (AS) sind:

1. Literaturstudie zu den Themen: Protonenbeweglichkeit, starke und schwache Wasserstoffbrückenbindungen (AP 1).
2. Austauschstöchiometrie und Austauschgeschwindigkeit bei organischen Rezeptoren (AP 2 und 3).
3. Methodenvergleich und Präzisierung des Isotopieeffekts bei der Solvent-Solute-Trennung (AP4 und 5).
4. Rückhaltevermögen organischer H-Rezeptoren (AP 6).
5. Auswahl und Studie anorganischer H-Rezeptoren (AP 7).
6. Verteilungsfaktoren und Austauschkinetik anorganischer H-Rezeptoren.
7. Abschlussbericht und Dokumentation

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Am 18. Januar 2005 wurden in Garching die Ergebnisse der letzten 6 Monate diskutiert. Die Gelfiltrationsapparatur wurde bei ersten Versuchen mit DNA von der Regensburger Gruppe eingesetzt (AS 3). Die Interpretation der erhaltenen Ergebnisse erweist sich als komplex und wird zur Zeit noch weitergeführt. Das bei der Gelfiltration eingesetzte Sephadex G10 wurde in Garching mittels Kryosublimation auf Anreicherung untersucht, wobei sich ein Anreicherungsfaktor von 1,28 ergab.

Weiterhin hat die Garchinger Gruppe mit ihrer Kryosublimationsapparatur hauptsächlich Metallsalze untersucht (AS 4 und 5), um die experimentellen Ergebnisse mit den Berechnungen des Lehrstuhl II der Physikalischen Chemie der TUM zu vergleichen. Berechnet wurden die Gleichgewichtskonstanten für den H/T-Austausch von Metallhydroxiden, wobei sich ergab, dass mit steigender Ladung des Metallions die Anreicherung zunehmen sollte. Bei der Kryosublimation von Na-Wasserglas ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) wurde ein Anreicherungsfaktor von 1,26 gefunden, welcher mit den Berechnungen übereinstimmt. Weiterhin wurden mit Hilfe der Kryosublimation die Anreicherungsfaktoren von NaBr, NaCl, CsCl und CsBr untersucht. Dabei zeigte sich, dass diese Verbindungen keine Anreicherung von Tritium zeigen. Dieses Ergebnis entspricht den berechneten Resultaten. Die bereits untersuchten Zeolithe in H-Form wurden in die Na-Form überführt und stehen für weitere Experimente zur Verfügung.

Erste Versuche zur Anreicherung aus alkalischen HTO-Lösungen mittels bipolarer Elektrolyse wurden mit einer Edelstahl-Anode und wahlweise Edelstahl- bzw. Eisenkathode durchgeführt. Ein maximaler Anreicherungsfaktor von 1,55 wurde bei 10 A und einer Elektrolysendauer von 10 Stunden erreicht (AS 5).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

In Regensburg sind weitere Gelfiltrations-Versuche mit DNA vorgesehen. Weiterhin soll das Verhalten von HTO auf der Sephadexsäule ohne Zusatz einer anderen Verbindung beobachtet werden, um eine eventuelle Anreicherung von T durch Sephadex zu untersuchen.

In Garching wird weiterhin die Reproduzierbarkeit der Kryosublimationsergebnisse überprüft. Parallel sollen einige organische Verbindungen (Hefe, Gelatine, DNA) auf ihre Eignung zur Tritiumanreicherung untersucht werden. Um die Änderung des Anreicherungsfaktors zu beobachten, sollen bei der bipolaren Elektrolyse unterschiedliche Membranmaterialien, sowie verschiedene Elektrolyte und pH-Werte untersucht werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Wierczinski, B., Müllen, G., Türler, A., „Tritium enrichment in the hydration sphere of humic substances“, Fusion Sci. Technol. (akzeptiert)

Wierczinski, B., Aign, J., Baumgärtner, F., Müllen, G., Türler, A., “Proton exchange and tritium enrichment in inorganic systems: inorganic metal salts“, J. Radioanal. Nucl. Chem. (eingereicht)

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Temp- lergraben 55, 52056 Aachen		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 S 8152</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Messmethoden zur Charakterisierung radioaktiver Abfälle und zur Freimessung von Rest- stoffen aus der Stilllegung kerntechnischer Anlagen (MESRAB)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2002 bis 31.07.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 250.156,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Odoj	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Ziel des Vorhabens ist die Ermittlung des derzeitigen Standes der zerstörungsfreien und zerstörenden Messverfahren inklusiven ihrer Fehlergrenzen, sowie eines eventuellen zukünftigen Forschungsbedarfs im Bereich Charakterisierung von radioaktiven Abfällen und Freimessung von Reststoffen. Dies gilt sowohl für Neuentwicklungen als auch für Weiterentwicklung bereits vorhandener Verfahren. Grundvoraussetzung für das Erreichen des Ziels ist die Erfassung aller bekannten Verfahren und ihre Ordnung und Bewertung nach bestimmten Kriterien.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

1. Ermittlung aller bestehender Messverfahren.
2. Ermittlung des Bedarfs an Messverfahren.
3. Ermittlung existierender Lücken.
4. Generalisierte Bewertungen und Empfehlungen – Schreiben des Abschlussberichts.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Ermittlung der Leistungsfähigkeit der am B-ND (Betriebsdirektion Nukleare Infrastruktur Dekontamination) /FZJ entwickelten bzw. eingesetzten zerstörenden Verfahren zur Charakterisierung radioaktiver Abfälle
- Ermittlung der Leistungsfähigkeit der massenspektrometrischen Methoden zur Bestimmung von langlebigen Radionukliden in Abfallproben am INE (Institut für Nukleare Entsorgung) /FZK, VKTA-Rosendorf und ZCA (Zentralabteilung für chemische Analyse)/FZJ.
- Ermittlung der Leistungsfähigkeit der Direktmessung mit Kontaminationsmonitoren, der In-situ-Gamma-Spektrometrie und der In-situ-Röntgenfluoreszenzspektrometrie zur Freigabe von Gebäudestrukturen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen.

Am B-ND/FZJ werden die festen radioaktiven Abfallproben zermahlen bzw. homogenisiert und mittels klassischer Aufschlussverfahren aufgelöst. Die Abtrennung von H-3 in wässrigen Proben erfolgt durch einfache Destillation. Fe-55, Ni-63, Sr-90 und S-35 werden mittels klassischen Fällungsreaktionen von den Matrixbestandteilen abgetrennt. Die Bestimmung von H-3, Fe-55, Ni-63, Sr-90 und S-35 erfolgt durch LSC. Die Gruppenabtrennung der Actinoide (Th, U, Np, Pu/ Am, Cm) erfolgt durch ein am B-ND/FZJ entwickelten und erprobten schnellen (ca. 15 min.) Flüssig-Flüssig Extraktionsverfahren mit Methyl-trioctylammoniumchlorid in MIBK (Methyl-isobutyl-keton) nach Zugabe einer konzentrierten  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ -Lösung in der Probelösung. Nach einer einzelnen Extraktion liegen die chemischen Ausbeuten für Th, U, Np, Pu, Am und Cm im Bereich von 97 bis 99 % mit einer Unsicherheit von 1 bis 2 %, unabhängig von der Salzkonzentration der Abfalllösung, so dass die Verwendung von Ausbeutetracern entfallen kann. Die Bestimmung der Actinoide erfolgt nach der Präparation von Zählproben durch Verdampfen des Extraktes auf einem Messschälchen aus Stahl mittels Alpha-Spektrometrie.

Am INE/FZK wird die ICP-QMS (Induktiv gekoppelte Plasma Quadrupol-Massenspektrometrie) für die Routinebestimmung von U- und Pu-Isotopen in radioaktiven Abfallproben (Reaktorkonstruktionsmaterialien, Verbrennungaschen, Kondensatkonzentrate, HAW-Lösungen, Verglasungsprodukte) eingesetzt. Wegen der im allgemeinen ausreichenden hohen U-Konzentrationen der Proben erfolgt die Bestimmung von U-Isotopen direkt aus

der Probenaufschlusslösung. Die Bestimmung von Pu-Isotopen außer Pu-238 erfolgt nach deren radiochemischen Isolierung. Die Messzeit beträgt einige Minuten. Die spezifische Nachweisgrenze liegt bei 0.05  $\mu\text{g/L}$  für U-Isotope und bei 0.005  $\mu\text{g/L}$  für Pu-Isotope.

Am VKTA-Rosendorf wird die ICP-SFMS (Induktiv gekoppelte Plasma Sektorfeld-Massenspektrometrie) für die Routinebestimmung von U-234, U-235 und U-238 direkt aus der Probenaufschlusslösung bzw. nach deren radiochemischen Abtrennung eingesetzt. Die Messzeit beträgt in der Regel 10 Minuten. Die für die Analyse einer 3 Gramm Proben erhaltenen spezifischen Nachweisgrenzen liegen bei 0.5  $\mu\text{Bq/g}$  für U-238, bei 10  $\mu\text{Bq/g}$  für U-235 und bei 10  $\text{mBq/g}$  für U-234. Die Nachweisgrenze für die Bestimmung von Tc-99 liegt bei 4  $\text{mBq/L}$  und die für Ra-226 bei 12  $\mu\text{Bq/L}$ . Die Unsicherheit in der Bestimmung der Aktivitätskonzentration liegt bei ca. 20 %. Am ZCH/FZJ wird die ICP-SFMS zur routinemäßigen Bestimmung langlebiger Actinoide und von Tc-99 nach deren radiochemischer Abtrennung eingesetzt. Zum Beispiel, die erhaltene Nachweisgrenze für Pu-239 in Bodenproben beträgt 93  $\mu\text{Bq/g}$  und die für Tc-99 in Verdampferkonzentrate 3  $\text{mBq/L}$ . Zur Bestimmung von Sr-90 nach radiochemischer Abtrennung wird die ICP-SFMS mit Kaltplasma eingesetzt um Isobareninterferenzen von Zr-90 zu unterdrücken. Die Nachweisgrenze für die Bestimmung von Sr-90 liegt bei 0.4  $\text{Bq/mL}$ . Die ICP-QMS mit einer  $\text{O}_2/\text{He}$  gasgefüllten Kollisionszelle zur Unterdrückung von molekularen und atomaren Isobareninterferenzen wurde für die direkte Messung von I-129 in kontaminierten Bodenproben nach thermalen Desorption und Gas-Phase Transfer von Jod in dem ICP unter Sauerstoffstrom erfolgreich eingesetzt. Die Nachweisgrenze von I-129 in Bodenproben liegt bei 19  $\text{mBq/g}$ . Die mit der ICP-CC-QMS erreichten Nachweisgrenzen für einige relevante langlebige Radionuklide (Se-79, Mo-93, Tc-99, Pd-107, Sn-126, I-129, Sm-151, U-236, Pu-239) liegen deutlich unterhalb der Grenzwerte für die uneingeschränkte Freigabe von festen Stoffen gemäß StrSchV. Die direkte Bestimmung von langlebigen Actinoiden in Feststoffen kann durch Laser-Ablation-ICP-SFMS erfolgen. Außer für Pu-239 und Am-241 liegen die mit der LA-ICP-SFMS erhaltenen Nachweisgrenzen langlebiger Radionukliden in homogenen Beton- bzw. Graphitproben unterhalb der Grenzwerte für die uneingeschränkte Freigabe von festen Stoffen gemäß StrSchV.

Für die Bestimmung langlebiger Alpha- und Beta-Strahler sind aufgrund kurzer Messzeiten und hoher Proben-durchsätze die oben genannten massenspektrometrischen Verfahren den radiometrischen Messverfahren (Alpha-Spektrometrie, LSC) überlegen, vorausgesetzt dass alle Isobareninterferenzen berücksichtigt sind.

Die Direktmessung mit Kontaminationsmonitoren ist ein häufig eingesetzte Messverfahren für die Freigabe von Gebäudestrukturen kerntechnischen Anlagen. Für Gebäudestrukturen, an denen entweder eine Dekontamination mit Materialabtrag stattgefunden hat oder das, im Rahmen von Voruntersuchungen eine starke Eindringung der Radionuklide zu unterstellen ist erweist sich die Direktmessung mit Kontaminationsmonitoren für eine Quantifizierung der Restaktivität als ungeeignet. Radionuklidgemische die ausschließlich an der Oberfläche vorliegen können in kurzer Zeit mit einem Kontaminationsmonitor erfasst und eingegrenzt werden.

Die In-situ-Gamma-Spektrometrie ist die Methode der Wahl zur Freimessungen von Gebäudestrukturen. Im Gegensatz zu der Direktmessung mit Kontaminationsmonitoren ermöglicht die In-situ-Gamma-Spektrometrie die nuklidspezifische Aktivitätsbestimmung von tief (einige cm) in Gebäudestrukturen eingedrungenen Gamma-Strahlern. Die Vorteile der In-situ-Gamma-Spektrometrie gegenüber der Probenahme und anschließender gamma-spektrometrischer Analyse im Labor sind kürzere Messzeiten und schnelle Ergebnisse. Probeentnahme und -aufbereitung entfallen. Die Repräsentativität der Ergebnisse ist durch die Mittelung über große Flächen bzw. Massen höher als bei der Analyse von Einzelproben. Die Kalibrierung erfolgt in der Regel durch mehrere einzelne Messungen mit Kalibrierungspunktquellen und numerischen Berechnungen. Die Nachweisgrenze der In-situ-Gamma-Spektrometrie liegt bei ca. 0.01  $\text{Bq/cm}^2$  bzw. 0.001  $\text{Bq/g}$ .

Zur direkte Quantifizierung von Flächenbelegungen mit Schwermetallen (Th, U, Np, Pu) wurde bei VKTA-Rosendorf ein In-situ-Röntgenfluoreszenzspektrometer entwickelt. Als Anregungsquellen dienen Co-57, Ba-133 und Ir-192 in Aktivitätsbereich von 3 bis 300 MBq. Die Mittelungsfläche liegt im Bereich von 50  $\text{cm}^2$  bis 100  $\text{cm}^2$ . Die Nachweisgrenze liegt bei 6  $\mu\text{g/cm}^2$  für Uran, bei 10  $\mu\text{g/cm}^2$  für Thorium und bei ca. 60  $\mu\text{g/cm}^2$  für Plutonium. Die Inspektionstiefe in Beton liegt je nach verwendeter Anregungsquelle im Bereich von einigen Zentimeter. Die nuklidangeregte In-situ-Fluoreszenzspektrometrie stellt eine ergänzende Methode zur Bestimmung der flächenbezogene Aktivität mit Kontaminationsmonitoren und zur Bestimmung von Oberflächen- und Volumenkontamination mit der kollimierten In-situ-Gamma-Spektrometrie dar.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Bewertung der bei Framatome, Erlangen eingesetzten zerstörenden Verfahren zur Bestimmung von reinen Beta- und reinen Alpha-Strahlern in Abfallproben.
- Erstellung des Endberichtes

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Laserinstitut Mittelsachsen e.V., Technikumplatz 17, 09648 Mittweida		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8162</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abprodukt-Konditionierung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2002 bis 31.07.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 371.385,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Exner	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Vorhabensziele:

- Untersuchung des Schmelzverhaltens von reinem und kontaminiertem Schwerbeton unter Einwirkung von Laserstrahlung.
- Entwicklung eines effizienten Verfahrens zum Abtrag der Schmelze bei gleichzeitiger Konditionierung des kontaminierten Materials.

Bezug zu anderen Vorhaben:

- Verbundprojekt mit der Technischen Universität Dresden (TUD), Institut für Energietechnik, Förderkennzeichen 02S8122

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Programm des Laserinstitut Mittelsachsen e.V. gliedert sich ein in die AP des Instituts für Energietechnik.

### **Arbeitspaket AP IV:**

Ermittlung technisch-technologischer Parameter der Laserablation an inaktiven Referenzproben (jeweils für alle drei Laserstrahl-Wellenlängen)

- Entwicklung von Bearbeitungsparametern zum Erschmelzen von inaktivem Schwerbeton bis zu einer Tiefe von ca. 3mm
- Übertragung der Ergebnisse auf größere Flächen homogener Schmelze
- Chemische Analyse der erstarrten Schmelze
- Untersuchung zur Erhöhung der Effizienz des Verfahrens
- Entwicklung von Verfahren zum Trennen der schmelzflüssigen Phase vom Basismaterial unter Berücksichtigung der Bewertungskriterien

### **Arbeitspaket AP VI:**

Aufbau und Inbetriebnahme des Leistungslasers an der TU Dresden

- Auswertung der vorliegende Ergebnisse als Grundlage für die Investitionsvorbereitung an der TU Dresden
- Aufbau und Inbetriebnahme des Leistungslasers
- Entwicklung von Zusatzgeräten und Messtechnik

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Übertragung der am LIM erzielten Ergebnisse an den Projektpartner nach Dresden (02S8122)
- Vermessung der bisherig erzeugten Abtragsflächen unter Zuhilfenahme der Lasertriangulation
- weiterführende Untersuchungen zum flächigen Abtrag mittels Taktung des Blasgasstromes
- weiterführende Arbeiten zur Literatur- und Patentrecherche.

#### *Ergebnisse:*

Die vom LIM erzielten Ergebnisse inklusive Laserempfehlung wurden an den Projektpartner weitergegeben.

Alle bisher erzeugten Abtragsflächen wurden unter Zuhilfenahme der Lasertriangulationsmethode vermessen, um Abtragstiefe, Abtragsvolumen und das Abtragsprofil bestimmen zu können. Die derzeit mögliche Abtragsrate liegt bei 682 cm<sup>3</sup>/h.

Durch die bisher gewonnenen positiven Erfahrung mit Taktung des Blasgasstromes sind weitere Untersuchungen vorgenommen wurden. Als vorteilhaft erwiesen sich längere Schmelzzeiten und kurze Ausblaszeiten. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen soll dieses Regime weiter untersucht werden.

Die Arbeiten zur Literatur- und Patentrecherche wurden weitergeführt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Optimierung des Austrags der erschmolzenen Phase und Maximierung der Flächenleistung bei geringer Abtragstiefe
- Erprobung unterschiedlicher Düsenformen
- Untersuchung der kristallinen und amorphen Anteile der Abprodukte
- Weiterentwicklung des Materialsammlers in Verbindung mit der späteren Konditionierung
- Vervollständigen der Versuchsmatrix
- Anfertigen des Abschlussberichtes

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Auftragnehmer:</b> STEAG encotec GmbH, Rüttenscheider Str. 1-3, 45128 Essen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8172</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entwicklung eines Konditionierungsverfahrens für Kernbrennstoffe aus dem Siemens-Unterrichts-Reaktor (SUR)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2002 bis 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.465.899,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Taube	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In Deutschland gibt es insgesamt zwölf Siemens-Unterrichts-Reaktoren (SUR). Ein Teil dieser Reaktoren ist bereits abgeschaltet, ein weiterer Teil plant die Abschaltung. Die SUR wurden bzw. werden von Fachhochschulen, Technischen Hochschulen, Universitäten und dem Forschungszentrum Karlsruhe betrieben. Die TU Dresden betreibt einen Ausbildungs-Kern-Reaktor (AKR).

Ziel dieses Vorhabens ist, ein Konditionierungsverfahren für den v. g. Kernbrennstoff zu entwickeln und anzuwenden, um im Anschluss das wiedergewonnene Uran dem Kernbrennstoffkreislauf zuzuführen.

Für die praktischen Durchführungen wurde das Institut für Radiochemie (RCM) der TU München im Rahmen des Gesamtvorhabens unterbeauftragt. RCM hat bereits im Vorfeld dieses Vorhabens im Auftrag des Forschungszentrums Jülich unter der Bestell-Nr. 021/41385637/930 Voruntersuchungen an einem Referenz-Brennelement durchgeführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Für das Konditionierungsverfahren ist ein Verbrennen des Polyethylens mit nachfolgendem Blanden des zurückgewonnenen Kernbrennstoffes mittels Natur-Uran vorgesehen. Auf diese Weise werden das in den Brennstoffplatten enthaltene Polyethylen zerstört und der U-235 Gehalt des  $U_3O_8$  (im Fall AKR  $UO_2$ ) auf einen Wert  $< 5$  Massen-% reduziert.

Das Programm ist in folgende Arbeitspakete untergliedert:

AP1: Schaffung der genehmigungstechnischen Voraussetzungen

AP2: Festlegung der Verfahrensabläufe

AP3: Experimentelle Arbeiten

AP4: Vertragswesen

AP5: Projektmanagement

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Für das Konditionieren und die Weiterverarbeitung des Kernbrennstoffes müssen u. a. die Genehmigungsvoraussetzungen geschaffen werden. Ein entsprechender Antrag auf Genehmigungserweiterung nach § 9 AtG bei der zuständigen Behörde wurde durch RCM bereits im Mai 2004 gestellt. Der verarbeitende Betrieb des konditionierten Kernbrennstoffes muss ein Zustimmungsverfahren durchlaufen. Es wurden die für die Antragstellung erforderlichen Abstimmungen und Arbeiten durchgeführt.
- AP2: Die Festlegungen zu den Verfahrensabläufen wurden weiterentwickelt. Hierzu gehören die Ausarbeitung der Anforderungen an das Uran-Produkt, das zum Blenden benötigte Uran, die Eingangskontrollen für die Brennelementplatten und das Blendmaterial, das mechanische Zerkleinern, die thermische Behandlung und die Parameter für das Blenden. Weiterhin fand ein Fachgespräch mit dem Betrieb, der den konditionierten Kernbrennstoff für ein EVU weiterverarbeitet, statt, um technische Einzelheiten hinsichtlich des Konditionierungsverfahrens und der erforderlichen Analysen abzustimmen.
- AP3: Es wurde begonnen, den Betrieb des Ofens durch Verbrennen inaktiven Polyethylens zu optimieren. Das Abluftsystem wurde erfolgreich getestet. Die für die experimentellen Arbeiten erforderliche Prozessbeschreibung wurde erstellt.
- AP4: Die Abstimmungen von mehreren Vertragsentwürfen wie z.B. den Inhaberwechsel des Kernbrennstoffes, die Konditionierung, die Übereignung von Blendmaterial und die Lieferungen betreffend wurden fortgesetzt. Die vorliegenden Angebote über die Transportleistungen wurden ausgewertet.
- AP5: Detailgespräche mit dem EVU, das Bereitschaft zeigt, den wieder gewonnenen Kernbrennstoff zu übernehmen, und dem Betrieb, der den konditionierten Kernbrennstoff für das EVU weiterverarbeitet, wurden fortgesetzt. Es fanden ein Projekt- und mehrere Fachgespräche mit den beteiligten Stellen statt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Nach der Antragstellung auf Genehmigungserweiterung werden durch RCM Gespräche mit dem Gutachter und der Behörde geführt und die daraus resultierenden Arbeiten erledigt. Der verarbeitende Betrieb des konditionierten Kernbrennstoffes stellt bei der zuständigen Behörde einen Antrag auf Zustimmung.
- AP2: Die Festlegungen zu den Verfahrensabläufen und Analysen werden mit dem Betrieb, der den konditionierten Kernbrennstoff für ein EVU weiterverarbeitet, vertiefend abgestimmt.
- AP3: Im Rahmen des Probetriebes des Ofens wird dessen Veraschkungskammer modifiziert. Das gesamte Ofensystem wird dem Gutachter zur Prüfung und Abnahme vorgeführt.
- AP4: Die Erstellungen der Vertragsentwürfe bzgl. der Planungsleistungen im Zustimmungsverfahren des Betriebes, der den konditionierten Kernbrennstoff weiterverarbeitet, des Inhaberwechsels des Kernbrennstoffes, der Konditionierung, der Übereignung von Blendmaterial und der Lieferungen werden weiterentwickelt.
- AP5: Es werden vertiefende Abstimmungsgespräche mit dem EVU unter Einbeziehung des Betriebes, der den konditionierten Kernbrennstoff weiterverarbeitet, durchgeführt, um die Randbedingungen für die Verträge einschl. der dazugehörigen Spezifikationen festzulegen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07740 Jena		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8182</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Strahlenschutz-Vorsorge für radionuklidbelastetes Substrat: Mikrobieller Beitrag zur Bioakkumulation aus Bauschutt		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 30.06.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 599.999,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Kothe	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben dient der Strahlenschutzvorsorge durch biologische Dekontamination radioaktiven Bauschutts unter Einsatz geeigneter Mikroben. Es wird auf einen Entzug der Radioisotopen/Schwermetalle durch pflanzliche Biomassen hingearbeitet, die dann verascht und in geringer Menge endgelagert werden können.

Das Vorhaben umfasst zunächst die Auswahl von Bakterien und Pilzen für Starterkulturen, die durch Isolierung vom Standort erhalten werden. Genetische Fingerprints zur Identifizierung und Kartierung am Standort werden daraus für ein mikrobiologisches Monitoring abgeleitet. Eine Versuchsanordnung im Labor und anschließend im mittleren Maßstab soll den Einfluss der Mikroben auf die Pflanzenextraktion validieren.

Neben der Publikation von Ergebnissen und Verwertung in der Lehre ist die Erteilung von Patenten für die erarbeiteten Verfahren Teil des Vorhabens.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Labor-Untersuchungen: Auswahl von Bakterien und Pilzen für Starterkulturen, Isolierungen vom Standort, Schwermetalltoleranzbestimmung, genetische Fingerprints zur Identifizierung und Kartierung am Standort.

Gefäßversuche: Substratbereitstellung zur Pflanzenextraktion, zur Kontrolle der eingebrachten Mikroben, zur Leistung der Mikroben in der Pflanzenextraktion und als Kontrolle ohne Biomaterial.

Lysimeterversuche: Einfluss der Beregnung und verschiedener Bepflanzung auf Dekontamination im Zusammenhang mit Bepflanzung, mikrobieller Inokulation und Kontrolle der Mikroben durch Antibiotika/Mykostatika.

Verfahrensbeschreibung: Die Umsetzung der erzielten Ergebnisse in eine Pilotanlage wird durch die WISUTEC GmbH vorbereitet. Alle Ergebnisse werden in der Lehre verbreitet.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten im Labormaßstab zur Identifizierung geeigneter Mikroben und die Bestimmung ihrer Schwermetallverträglichkeit sind abgeschlossen; ein innovatives Verfahren zum Mikrobiologischen Monitoring wurde vorbereitet und in ersten Analysen erfolgreich getestet. Dazu wurde die DNA-Extraktion aus Böden optimiert und ein CHIP für ein high-throughput-screening entwickelt und getestet.

Starterkulturen für Gefäß- und Lysimeteruntersuchungen wurden identifiziert und im Labormaßstab wurde mit der Zucht begonnen. Ihre Fähigkeit zur Konkurrenz im Schutt/Rohkompost-Gemisch wurde in ersten Gefäßversuchen untersucht und die Mykorrhizierungsrate sowie die Besiedlung mit stickstofffixierenden Bakterien nachgewiesen. Für die Lysimeter wurden die Rahmenbedingungen festgelegt, sie werden wie geplant im Frühjahr auf dem Wismut-Gelände verfügbar sein und dann mit Sonnenblume und Mais, die sich in den Topfunteruchungen als für das Substrat geeignet erwiesen haben, bepflanzt werden. Dabei wird ein Kontrollsubstrat mit ebenfalls hohem pH-Wert mitgeführt, um die Einflüssen der Kontamination auf Wachstum und Nachhaltigkeit der bakteriellen und pilzlichen Besiedlung nachvollziehen zu können.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Wie geplant sollen die Gefäßversuche weiter geführt und Lysimeter eingerichtet werden:

2004/7- 2005/2: Einrichten der Gefäßversuche zur Substratmischung und Inokulation.

2005/3-2005/8: Einrichten und erste Ernte der Gefäßversuche mit Bestimmung des Dekontaminationsfaktors in Abhängigkeit von Pflanzenart, Substratzusammensetzung, und Perkolation. Nachhaltigkeitsmessungen der eingebrachten Mikroben.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Haferburg G, Reinicke M, Merten D, Büchel G & E Kothe, 2005: Identification of microbes suitable for heavy metal retention from acid mine drainage waters. *Journal of Geochemical Exploration*, Special Issue: Friese K, Dold B (Eds.) *Biogeochemical Studies about the Environmental Impacts of Mining on Ground and Surface Waters*. In Review

Schmidt A. 2004: Mechanismen der Nickelresistenz bei Streptomyceten aus belasteten Böden. Diplomarbeit, Universität Jena.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Planckstraße 1, 64278 Darmstadt		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 S 8203</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Genetische Wirkung dicht ionisierender Strahlen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2003 bis 30.06.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.357.473,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Kraft	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Forschungsvorhaben hat zum Ziel, verlässliche Daten zur Abschätzung der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) von dicht ionisierender Strahlung für die Induktion genetischer Veränderungen im Menschen zu erhalten. Hierzu werden *in vitro* Experimente mit primären menschlichen Zellen wie Lymphozyten und Hautfibroblasten durchgeführt. Die Ionenbestrahlungen erfolgen an den Beschleunigern der GSI. Als Maß der genetischen Veränderung werden Chromosomenschäden in Metaphase- und in Interphasezellen gemessen. Die *in vitro* Daten sollen dann mit Werten aus Patientenbestrahlungen verglichen werden. Dieser direkte Vergleich kann derzeit nur an der GSI in Darmstadt sowie in Chiba (Japan) erfolgen.

Das Projekt soll darüber hinaus zum Kompetenzerhalt und der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses in der Strahlenforschung beitragen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

**AP 1:** Untersuchung der Induktion und Transmission von Chromosomenschäden in menschlichen T-Lymphozyten und Hautfibroblasten nach Teilchenbestrahlung (GSI Darmstadt).

**AP 2:** Messung der Strahlenempfindlichkeit von T- und B-Lymphozyten sowie von Makrophagen gegenüber dicht und dünn ionisierender Strahlung (Technische Universität Darmstadt).

**AP 3:** Untersuchungen zur Expression von Chromosomenschäden in T-Lymphozyten von Krebspatienten nach Bestrahlung mit Kohlenstoffionen oder Röntgenstrahlen (Universität Göttingen).

**AP 4:** Untersuchungen der strahleninduzierten genetischen Stabilität/Instabilität in Lymphozyten anhand der Messung der Telomeraseaktivität und der Bestimmung von Chromosomenschäden (Universitätsklinik Mannheim).

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

**AP 1:** Lymphozyten eines gesunden Spenders wurden *in vitro* mit 200 MeV/u Eisenionen (u: nukleare Masseneinheit), 4,6 MeV/u Chromionen und Röntgenstrahlen bestrahlt und Metaphase- sowie Interphasechromosomenpräparate zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Exposition hergestellt. Die Analyse der Giemsa-gefärbten Metaphasepräparate ist abgeschlossen und zeigt, dass es eine Korrelation zwischen Zellzyklusverzögerungen und der Anzahl der Chromosomenschäden pro Zelle gibt: schwergeschädigte Lymphozyten erreichen die erste Mitose > 70h nach Bestrahlung, während gering geschädigte Zellen schon nach etwa 48h in die Mitose eintreten. Darüber hinaus wurde ein neues Bildanalyseprogramm zur Auswertung vom M-FISH gefärbten Chromosomenpräparaten installiert und in Betrieb genommen.

In normalen humanen Hautfibroblasten wurden die Untersuchungen zur Zellzyklusprogression nach Bestrahlung intensiviert, da seit November 2004 ein FACS-Gerät zur Verfügung steht. Diese Messungen bestätigen, dass Fibroblasten nach Röntgen- und Kohlenstoffionenbestrahlung vorwiegend in der G1-Phase arretieren. Die bisherigen Langzeituntersuchungen zur Proteinexpression (p53, p21, p16) und zur morphologischen Differenzierung deuten auf mechanistische Gemeinsamkeiten zwischen Zellzyklusinhibition direkt nach Bestrahlung und zellulärer Alterung hin. Dieser Prozess ist für Zellen, die nur kurze Zeit inhibiert waren, auch nach mehreren Monaten noch nicht abgeschlossen.

**AP 2:** Erste Röntgenexperimente wurden mit primären humanen Monozyten/Makrophagen durchgeführt. Die Monozyten unterschiedlicher Spender wiesen eine hohe Strahlenresistenz auf, die Strahlenempfindlichkeit ist vergleichbar mit der murinen Makrophagenzelllinie RAW. Primären humanen Monozyten zeigten darüber

hinaus in einem Beobachtungszeitraum von 0 bis 48 Stunden nach einer Bestrahlung mit bis zu 16 Gy Röntgenstrahlen keine Induktion der IL-1 $\beta$  oder TNF- $\alpha$  Produktion. Mit der Aufreinigung von B-Lymphozyten aus Vollblut und Buffy-Coats wurde begonnen.

**AP 3:** Vor, während und nach einer Therapie mit konventionellen Röntgenstrahlen wurden mehreren Prostatakarzinom-Patienten Lymphozyten entnommen und Chromosomenschäden mittels Giemsa- und FISH-Färbung ausgewertet. Die spontane Aberrationsrate (d.h. vor der Therapie) ist bei allen bisher untersuchten Patienten im Vergleich zu gesunden Spendern erhöht (t-Test,  $p < 0,05$ ). In der Mitte der Therapie ist bisher nur bei 2 Patienten ein leichter Anstieg in der Anzahl von Chromosomenschäden zu beobachten, am Ende der Therapie konnte eine Zunahme bei fast allen Patienten beobachtet werden. Darüber hinaus wurde die Methode der Lymphozyten-Langzeitkultur etabliert, um die strahleninduzierte genomische Instabilität näher zu untersuchen. Erste Bestrahlungsexperimente (Röntgenstrahlen, 100 MeV/u Kohlenstoffionen) wurden im November durchgeführt und werden derzeit ausgewertet.

**AP 4:** Die Telomeraseaktivität in Lymphozyten von Strahlentherapiepatienten und gesunden Spendern wurde mittels PCR-ELISA untersucht. Die basale Telomeraseaktivität in ruhenden Zellen konnte nur unter Einsatz hoher Zellzahlen nachgewiesen werden. Wegen des begrenzten dynamischen Bereiches dieses Testsystems ist eine zuverlässige Quantifizierung nicht möglich. Auch nach Bestrahlung war das Signal zu niedrig für eine quantitative Bestimmung. Telomeraseaktivität konnte dagegen im normalen Messbereich nach Stimulation der Zellen quantifiziert werden.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

**AP 1:** Die Analyse von Chromosomenschäden in Lymphozyten nach Bestrahlung mit 200 MeV/u Eisenionen, 4,6 MeV/u Chromionen und Röntgenstrahlen wird beendet, ein neues Experiment wird mit niederenergetischen Kohlenstoffionen im Februar durchgeführt. Ausgewählte Präparate sollen mit M-FISH angefärbt und ausgewertet werden.

Chromosomenpräparate von Langzeitkulturen bestrahlter Fibroblasten sollen mittels Giemsa- und FISH-Färbung im Hinblick auf genetische Stabilität/Instabilität untersucht werden. Die Experimente zur Zellzyklusprogression von Fibroblasten sollen unter besonderer Beachtung des Einflusses einer verzögerten Entlassung aus der Kontaktinhibition abgeschlossen werden. Begleitend zur Chromosomenanalyse der Langzeitkulturen soll die Reproduzierbarkeit der Proteinexpression in einem weiteren Experiment geprüft werden. Hierbei geht es auch um die Rolle der beobachteten Induktion von p16.

**AP 2:** Röntgenexperimente werden mit LPS stimulierten humanen Monozyten unterschiedlicher Spender durchgeführt, weitere Experimente mit Kohlenstoffionen sind für Februar 2005 vorgesehen. Die Aufreinigung und Kultivierung humaner B-Lymphozyten wird verbessert und erste Röntgenbestrahlungen sind geplant.

**AP 3:** Die Untersuchung von Chromosomenaberrationen in Lymphozyten von Patienten, 1 Jahr nach Beendigung der Strahlentherapie, wird fortgesetzt. Außerdem wird die Aufnahme weiterer Patientengruppen in die Studie vorbereitet. Lymphozyten von Prostatakarzinom-Patienten, die in Heidelberg mit IMRT (intensitätsmodulierten Radiotherapie) oder einer Kombination aus IMRT und einer Kohlenstoffionen-Therapie (Boost Bestrahlung) behandelt werden, sollen untersucht werden. Darüber hinaus wird mit der Methode der Langzeitkulturen in *in vitro* bestrahlten Zellen (Röntgenstrahlung, 100 MeV/u Kohlenstoffionen) die genomische Stabilität/Instabilität untersucht.

**AP 4:** Die Telomeraseaktivität soll in stimulierten Lymphozyten mittels PCR-ELISA durchgeführt werden. Erste Bestrahlungsexperimente sind vorgesehen. Mit der Etablierung eines quantitativen real-time PCR Verfahrens zur Verbesserung der Sensitivität und Erweiterung des dynamischen Bereiches der Telomerasemessung wurde bereits begonnen. Diese Methode soll eingesetzt werden, um die Telomeraseaktivität auch in unstimulierten Lymphozyten messen zu können.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Berger, S., E. Gudowska-Nowak, E. Nasonova and S. Ritter: Cell cycle arrest and aberration yield in normal human fibroblasts. II. Effects of 11 MeV/u C ions and 9.9 MeV/u Ni ions. *Int. J. Radiat. Biol.* (in preparation).

Eich, M.: Einfluss von Röntgenstrahlung auf die Zellzyklusprogression und die Erzeugung von chromosomalen Schäden in normalen menschlichen Hautfibroblasten, Praktikumsbericht, GSI/Technische Universität Darmstadt (2004).

Gudowska-Nowak E., A. Kleczkowski, E. Nasonova, M. Scholz and S. Ritter: Correlation between mitotic delay and aberration burden and their role for the analysis of chromosomal damage. *Int. J. Radiat. Biol.* (in press).

Lee, R., Nasonova, E. and Ritter, S: Chromosome aberration yields and apoptosis in human lymphocytes irradiated with Fe-ions of differing LET. *Adv. Space Res.* (in press).

Pignalosa, D.: Effects of X-irradiation on human fibroblasts. GSI International Summer Students' Program 2004. *Book of Reports*, pp 103-106 (2004).

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universitätsklinikum Düsseldorf, Moorenstraße 5, 40001 Düsseldorf		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8213</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Mechanismen der Zytotoxizität durch Alpha-Strahlung in humanen normalen und malignen hämatopoetischen Zellen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2003 bis 31.07.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 737.782,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Haas	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Schwerpunkte des Vorhabens sind radiobiologische Forschung und Grundlagenforschung auf molekularer Ebene zur Aufklärung des Phänomens der Schädigung/Zerstörung menschlicher normaler und maligner blutbildender Zellen durch Alpha-Strahlung. Die Untersuchungen bei gesunden Probanden und Patienten mit akuten oder chronischen Leukämien werden auf Gen-Expressionsebene mittels DNA-Arrays und Protein-Chips durchgeführt und mit funktionellen Tests für Zellzyklus, Zellproliferation, Apoptose-Induktion ergänzt. Bei Patienten mit malignem Non-Hodgkin-Lymphom, die eine Alpha-Radioimmuntherapie erhalten, werden Genexpressionsprofile von hämatopoetischen Stammzellen sowie B-Lymphozyten erstellt, um die Nebenwirkungen dieser Behandlungsart zu definieren. Das Ziel der Charakterisierung der molekularen Mechanismen der Strahlenwirkung ist ein besseres Verständnis der durch Alpha-Strahlung induzierten Krebsentstehung, die molekulare Aufklärung der therapeutischen Wirkung einer Alpha-Bestrahlung und die Optimierung der Indikationsstellung für eine Radiotherapie.

Unterauftragnehmer ist das Institut für Transurane (ITU), Europäische Kommission, Gemeinsame Forschungsstelle Karlsruhe

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

**AP 1:** Charakterisierung des molekularen Phänotyps der mit Alpha-bestrahlten normalen humanen hämatopoetischen Zellen aus dem Knochenmark und peripherem Blut.

Mit Affymetrix Arrays werden Genexpressionsprofile vor und nach Alpha-Bestrahlung erstellt, um intraindividuell die strahleninduzierten Veränderungen zu charakterisieren. Es werden solche Gene definiert, die bei niedrigen Strahlendosen induziert werden und solche, die bei hohen Dosen transkriptionell aktiviert werden. Die Dosisabhängigkeit der Geninduktion wird dadurch untersucht. Ein zeitabhängiges Muster der Geninduktion wird ebenfalls erstellt.

**AP 2:** Die Wirkungen der Alpha-Strahlung auf maligne hämatopoetische Zellen, die aus dem Knochenmark und peripheren Blut von Patienten mit akuter myeloischer Leukämie oder chronischer lymphatischer Leukämie entstammen, werden mittels Genexpressionsanalysen mit Affymetrix Arrays untersucht.

**AP 3:** Die Untersuchungsergebnisse der Genexpression auf mRNA Ebene nach einer Alpha-Bestrahlung in normalen (AP 1) und malignen (AP 2) hämatopoetischen Zellen werden mit dem Nachweis der entsprechenden Proteine mittels Antikörper-Microarrays in Beziehung gesetzt.

**AP 4:** Funktionsanalysen der Alpha-bestrahlten normalen und malignen Zellen werden durchgeführt. Der Phänotyp, die Proliferationsfähigkeit, die Apoptose-Rate werden charakterisiert. Zellzyklus-Analysen werden durchgeführt.

Die identifizierten Kandidatengene werden mittels quantitativer real-time RT-PCR (LightCycler-Technologie) bestätigt und näher untersucht.

**AP 5:** Prinzipien und Mechanismen der radioprotektiven Wirkung gegenüber Alpha-Strahlung werden definiert.

Nach Identifikation signifikant differentiell exprimierter Gene als Funktion von Strahlendosis, wird der Einfluss radioprotektiver Substanzen auf das Genexpressionsmuster untersucht.

**AP 6:** Bei Patienten mit chronischer lymphatischer Leukämie, Non-Hodgkin-Lymphom oder multiplem Myelom, die eine Alpha-Radioimmuntherapie mit <sup>213</sup>Bi-gekoppelten anti-CD20 monoklonalen Antikörper bekommen, werden die hämatopoetischen Stammzellen aus dem Knochenmark nach Abschluss der Behandlung mittels Genexpressionsanalyse untersucht. Auf diese Weise sollen die Nebenwirkungen der Alpha-Radioimmuntherapie auf die Blutbildung nach einer derartigen Behandlung definiert werden.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP 1 – AP 6

**UKD:** Die bioinformatischen Auswertung von Affymetrix-Chips (Normalisierung, Permutationstests, hierarchische Cluster-Analysen, Pathway-Software-Programme) wurde verfeinert und inzwischen erfolgreich an 112 Proben von normalen und

malignen hämatopoetischen Zellen angewendet. Es ist dadurch einerseits möglich, beim Vergleich von gesunden mit leukämischen Blutstammzellen signifikante Genexpressionsunterschiede zu identifizieren. Die bioinformatisch identifizierten Unterschiede konnten für zahlreiche Zielgene mit Hilfe der quantitativen „real-time“-RT-PCR bestätigt werden. Außerdem konnten wir zeigen, dass mit der Genexpressionsanalyse und unseren bioinformatischen Algorithmen, Einflüsse von Medikamenten auf die Transkription von Genen identifiziert werden können.

**ITU:** Es wurden 3  $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$  Generatoren hergestellt mit einer Aktivität pro Generator zwischen 5 und 6 mCi, die die benötigte Aktivität über mehrere Wochen lieferten. Das resultierende  $^{213}\text{Bi}$  ( $T_{1/2}=46$  min) wurde für *in vitro* Versuche eingesetzt. Um die Kopplung des  $^{213}\text{Bi}$  an monoklonale Antikörper zu ermöglichen, wurde das Linker-Molekül (Chelator) CHX-A'-DTPA an die monoklonalen anti-CD20 Antikörper gebunden. Die chelatierten Antikörper wurden anschließend radiomarkiert.

#### AP 2

**ITU:** Die Genexpressionsdaten aus den im letzten Berichtszeitraum bestrahlten und nach Düsseldorf geschickten 40 K422-Lymphom-Zellproben wurden in Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner vom UKD ausgewertet.

**UKD:** Alle 40 Proben wurde in Biotin-markierte cRNA umgeschrieben und auf Affymetrix-Chips hybridisiert. Systematische Auswertung ergab, dass es drei Verlaufsmuster der Genexpressionsveränderungen über die Zeit gab: 1. Frühe Hochregulation bereits nach einer Stunde (76 Gene); 2. Späte Hochregulation nach 24 Stunden (394 Gene); 3. Herunterregulation (11 Gene). Mit Hilfe verschiedener Datenbanken (NetAffx, PubMed, Biocarta) wurden die differentiell exprimierten Gene unterschiedlichen Gruppen bezüglich ihrer biologischen Funktion zugeordnet. Die dadurch identifizierten größten funktionellen Gruppen waren folgende: Zellzyklus (52 Gene), Immunantwort (48 Gene), Transkriptionsregulation (40 Gene), DNA-Replikation (28 Gene), Apoptose (23 Gene), DNA-Reparatur (22 Gene), RNA-Prozessierung (19 Gene), Proteinabbau (13 Gene). Eine vorläufige Interpretation der Daten legt nahe, dass die Alpha-Strahlung bevorzugt Transkriptionsfaktoren induziert, in die Zellzyklusregulation eingreift und DNA-Reparaturmechanismen anschaltet. Die Auswertung der Expressionsdaten bei Verwendung der höheren Dosis von 200  $\mu\text{Ci}$   $^{213}\text{Bi}$  wird in den nächsten Monaten erfolgen, um eine Dosisabhängigkeit der Effekte zu prüfen.

#### AP 4

**UKD:** Die im vorhergehenden Berichtszeitraum etablierte quantitative real-time RT-PCR wurde an vier ausgewählten Genen erfolgreich eingesetzt. Die vier Gene wurden aus den Genexpressionsdaten aus einem vorhergehenden Projekt ausgewählt. Hierbei wurden maligne B-Zellen von Patienten mit chronischer lymphatischer Leukämie mit  $^{213}\text{Bi}$ -konjugiertem anti-CD20-Antikörper bestrahlt und differentiell exprimierte Gene identifiziert. Bei den für die real-time PCR ausgewählten Genen handelte es sich um die Gene für das „proliferating cell nuclear antigen“, das „cell division cycle 25B“-Protein, das Protein 5 aus der Tumornekrose-Faktor-Superfamilie und das „cyclin-dependent kinase 6“-Protein. Die PCR-Analysen wurden an insgesamt 10 verschiedenen Patientenproben durchgeführt. Nun sollen einige der durch die Affymetrix-Technologie identifizierten Gene mit der real-time PCR-Methode bestätigt werden.

#### AP 6

**ITU/UKD:** Am 25.07.04 wurde ein Ac-225/Bi-213 Generator (40 mCi) für die Behandlung eines Patienten (29.07-31.07.04) im Rahmen der klinischen Studie zur Alpha-Immuntherapie von Patienten mit malignen B-Zell Erkrankungen nach Düsseldorf geschickt. Insgesamt wurden dem Patienten 58 mCi appliziert. Am 27.09.04 wurde noch ein weiterer Ac-225/Bi-213 Generator (37 mCi) für die Behandlung eines weiteren Patienten nach Düsseldorf geschickt. Dieser Patient erhielt 52 mCi Bi-213-CD20 (28.09-29.09.04).

Von beiden Patienten wurden insgesamt 8 Proben mit angereicherten CD34+ Zellen und CD19+ Zellen aus dem Knochenmark sowie von CD19+ Zellen aus dem peripheren Blut vor und nach der Behandlung gewonnen und eingefroren. Sie sollen nach Abschluss der Studie auf Veränderungen der Genexpression durch  $^{213}\text{Bi}$  *in vivo* untersucht werden.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Expressionsdaten aus den Affymetrix-Microarray-Hybridisierungen werden weiter vor dem Hintergrund der biologischen Funktion der differentiell exprimierten Gene ausgewertet. Nach Abschluss werden für die einzelnen funktionellen Gruppen repräsentative Gene ausgewählt und mit real-time PCR auf mRNA-Ebene oder durch immunologische Methoden auf Protein-Ebene bestätigt. Außerdem werden die Expressionsdaten mit funktionellen Zellkulturdaten in Beziehung gesetzt, um die funktionelle Relevanz der Genexpressionsdaten zu zeigen.

Zusätzlich wird eine Dosisabhängigkeit der differentiellen Genexpression an bereits hybridisierten Proben untersucht werden. Außerdem werden die Experimente zunächst auf CD33+ bzw. CD34+ Leukämiezelllinien und dann auf hämatopoetische Zellen aus dem peripheren Blut oder dem Knochenmark von gesunden Spendern oder Patienten mit malignem Non-Hodgkin-Lymphom erweitert. Es sollen weitere Patienten mit dem  $^{213}\text{Bi}$ -Antikörper behandelt werden. Von diesen Patienten sollen weitere Proben für die *in vivo*-Analyse der molekularen Veränderungen nach Alpha-Therapie gewonnen und durch Affymetrix Chips untersucht werden.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 S 8223</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Inaktivierung von Mdm2 nach ionisierender Strahlung – Aufklärung der Signaltransduktionskette		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2003 bis 31.05.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 347.892,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Herrlich	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

**Gesamtziel:** Untersuchung der Signalwege, die durch Doppelstrangbrüchen angeschaltet werden und zur Inhibierung des Mdm2 Proteins (und damit zur Zunahme des p53 Proteins) führen.

- Identifizierung des Enzyms, das die Glykogen Synthase Kinase 3 (GSK-3) nach ionisierender Strahlung (IR) an Serin 9 phosphoryliert
- Untersuchung der Translokation der Kasein Kinase 1 delta (CKI $\delta$ ) in den Zellkern
- Untersuchung der Beteiligung von CKI $\delta$  an der Stabilisierung von p53 nach IR.

**Bezug zu förderpolitischen Zielen:** Das Vorhaben dient dem Kompetenzerhalt und der Ausbildung des wissenschaftlichem Nachwuchs.

**Wissenschaftliche und /oder technische Ziele:**

- Aufklärung der Signaltransduktionskette, die nach IR zur Zunahme des p53 Proteins führt.
- Identifizierung neuer Zielproteine für die Krebstherapie.

**Bezug zu anderen Arbeiten:** Untersuchungen zur Stabilisierung des p53 Proteins nach Schädigungen der DNA bilden einen Forschungsschwerpunkt in der Arbeitsgruppe Blattner am Institut für Genetik. Hier wurde bereits GSK-3 als Komponente einer Signaltransduktionskette identifiziert, welche Informationen vom Doppelstrangbruch zum Mdm2 Molekül leitet. GSK-3 phosphoryliert normalerweise das Mdm2 Protein. IR inaktiviert GSK-3 und verhindert so die Mdm2 Phosphorylierung. Da die Phosphorylierung des Mdm2 Proteins für den Abbau des p53 Proteins essenziell ist, nimmt die p53 Menge nach Inhibition von GSK-3 zu und die Zielgene werden aktiviert. Dadurch wird der Zellzyklus arretiert und die Zelle kann die Schäden vor der nächsten Zellteilung reparieren oder Zelltod auslösen. Damit wird die Gefahr von Mutationen, und folglich der Krebsentstehung, entgegen gewirkt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- A.1: Identifizierung der Kinase, die GSK-3 nach ionisierender Strahlung phosphoryliert
- A.2: Identifizierung der Mechanismen, die zur Aktivierung der GSK-3 Kinase nach ionisierender Strahlung führen.
- B.1: Analyse der Mechanismen, die zur Translokation von CKI $\delta$  nach ionisierender Strahlung führen.
- B.1.1: Analyse strahleninduzierter Phosphorylierungen von CKI $\delta$
- B.1.2: Analyse strahleninduzierter Sumoylierung von CKI $\delta$
- B.2: Analyse der Signaltransduktion, die der Translokation zugrunde liegt
- B.3: Analyse von CKI $\delta$  Zielgenen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

**zu A:** Bisher sind 5 Kinasen bekannt, welche GSK-3 unter verschiedenen physiologischen Bedingungen phosphorylieren (p90Rsk, PKA, PKC, PKB/Akt, p70S6K). Durch die Verwendung möglichst spezifischer Inhibitoren haben wir untersucht welche dieser Kinasen für die Phosphorylierung von GSK-3 nach ionisierender Strahlung verantwortlich sein könnte. Im zurückliegenden Berichtszeitraum haben wir initiale Ergebnisse verifiziert und auf weitere Kinasen ausgedehnt. Durch die so gewonnenen Ergebnisse können wir eine Beteiligung von p90Rsk ausschließen. Der p90Rsk-Inhibitor U0126 reduziert zwar die basale Phosphorylierung von GSK-3, nicht aber die Zunahme der Phosphorylierung nach ionisierender Strahlung. Auch die Beteiligung von PKA können wir ausschließen. Der PKA-Inhibitor KT5720 reduziert wie auch der p90Rsk-Inhibitor die basale Phosphorylierung von GSK-3, lässt aber eine Zunahme nach ionisierender Strahlung zu. Für die Inhibition von PKC inkubierten wir die Zellen für 24 Stunden mit TPA. Diese Behandlung führte wiederum zur Reduktion der basalen Phosphorylierung von GSK-3, hatte aber keinen Einfluss auf die Zunahme der Phosphorylierung nach ionisierender Strahlung. Da mit einer 24-stündigen TPA-Inkubation nur neue und konventionelle PKC-Isoformen, nicht aber atypische PKC-Isoformen, lässt sich deren Beteiligung noch nicht ausschließen.

Eine Überprüfung der Ergebnisse mit dem PKB/Akt-Inhibitor zeigte, dass die GSK-3 Phosphorylierung nach ionisierender Strahlung in „gehungerten“ Zellen (nicht aber in nicht-gehungerten Zellen) inhibiert wird. Dies weist auf die Beteiligung einer Wachstumsfaktor-abhängigen Signaltransduktionskaskade hin. Für die Aktivierung benötigt PKB/Akt eine Phosphorylierung an Ser473 und eine an Thr308. Die Thr308 Phosphorylierung wird z.B. über Wachstumsfaktoren, nicht aber über ionisierende Strahlung, reguliert. Die Ser473 Phosphorylierung nimmt nach ionisierender Strahlung zu und zwar eindeutig bevor GSK-3 phosphoryliert wird. Aufgrund dieser Beobachtungen vermuten wir, dass GSK-3 in gehungerten Zellen nicht phosphoryliert wird, da in diesen Zellen PKB/Akt durch das Fehlen der Wachstumsfaktor-abhängigen Phosphorylierung an Thr308 durch ionisierende Strahlung nicht aktivierbar ist.

**zu B:** Die Konstrukte, die wir im ersten Halbjahr 2004 hergestellt haben, wurden eingesetzt, um die Regulation des p53 Proteins zu untersuchen. Aufgrund der bisherigen Daten können wir eine mögliche „Priming“-Funktion von ATM für CKI $\delta$  ausschließen. Ferner ist eine Regulation des p53 Proteins aufgrund von CKI $\delta$ -vermittelter Phosphorylierung des C-terminalen Bereichs des Mdm2 Proteins unwahrscheinlich. Hier wurden allerdings noch nicht alle Konstrukte abschließend getestet. Eine Beteiligung von CKI $\delta$  an der Regulation von E2F-1 hat sich hingegen erhärtet. Nach Verwendung des CKI $\delta$ -Inhibitors IC261 nimmt die Aktivität von E2F-1 zu. Der Einfluss von CKI $\delta$  auf die Aktivität von E2F-1 scheint aber indirekt zu sein. Zwar phosphoryliert CKI $\delta$  E2F-1 in vitro, eine Phosphorylierung in der Zelle konnten wir jedoch nicht nachweisen. Ungeklärt ist auch, ob CKI $\delta$  E2F-1 möglicherweise nach Strahlenexposition phosphoryliert. Neben der Aktivität von E2F-reguliert CKI $\delta$  auch die E2F-1 Expression. Sowohl der CKI $\delta$ -Inhibitor als auch siRNA reduzieren die E2F-1 Proteinmenge. Der Reduktion der Proteinmenge geht eine Abnahme der RNA Menge voraus.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

**zu A:** Die Ergebnisse hinsichtlich der PKB Kinase aus dem vorherigen Berichtszeitraum sollen nochmals überprüft werden. Wir werden die Phosphorylierung von GSK-3 und Expression von p53 nach Überexpression von Wildtyp und dominant negativer Mutante von PKB/Akt sowie nach Überexpression von siRNA gegen PKB/Akt untersuchen und Kinaseassays mit PKB/Akt nach ionisierender Strahlung durchführen. Eine Beteiligung der p70S6K soll durch Expression von siRNA überprüft werden.

**zu B:** Wir werden mit der Analyse der Regulation von E2F-1 durch CKI $\delta$  fortfahren. Hier interessiert uns besonders die Abhängigkeit der Regulation von ionisierender Strahlung. Wir werden weitere strahlenrelevante Zielgene von CKI $\delta$  identifizieren und die Regulation von CKI $\delta$  nach Bestrahlung analysieren.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Winter M, Milne D, Kulikov R, Knippschild U, Meek D, Blattner C. 2004. Protein kinase CKI $\delta$  phosphorylates key sites in the acidic domain of Mdm2 in vitro and in vivo. *Biochemistry*, **24**, 16356-16364.

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31201 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8234</b>	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Vorstudie über die Rückführung der Wiederaufarbeitungsabfälle von Brennelementen deutscher Forschungsreaktoren aus der WA Dounreay in Schottland (RETURN)			
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2004 bis 31.08.2005		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 388.600,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Bollingerfehr	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Vorhabens sollen die Randbedingungen und Vorgaben zusammen gestellt und untersucht werden, die - ausgehend von der freigegebenen Verfahrensqualifizierung für die Konditionierung der flüssigen radioaktiven Abfälle von wiederaufgearbeiteten Brennelementen aus deutschen Forschungsreaktoren - erfüllt sein müssen, damit eine Rückführung der Abfälle vom schottischen Dounreay nach Deutschland möglich wird. Weiterhin sind die Fragen zu klären, die sich mit der Auswahl und Spezifikation von Transport-, Zwischenlager- und Endlagerbehältern befassen. Dabei sind bereits existierende Behälter und Behälterkonzepte mit in die Lösungsfindung einzubeziehen und technische Alternativen zu entwickeln. Die Voraussetzungen und Bestimmungen für Genehmigungsverfahren von ggf. neuen Behältern sind zu untersuchen.

Die Möglichkeiten zur Zwischenlagerung der zurück zu nehmenden Abfallbehälter aus Dounreay in Deutschland sind zu analysieren und darzustellen. Dabei sind alle in der Planung und im Bau befindlichen Zwischenlagermöglichkeiten mit einzubeziehen.

Der Aufwand für die vollständige Rückführung der in der WA in Dounreay hergestellten Abfallgebinde ist zu ermitteln. Dazu zählen die Entwicklung eines Zeitplanes und eine Kostenabschätzung für die in Frage kommenden Optionen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Zur Beantwortung der in der Zielsetzung genannten Aufgaben ist das nachfolgende Arbeitsprogramm vorgesehen:

- AP1: Untersuchung des Status Quo zur Wiederaufarbeitung der Brennelemente und der Abfallbehandlung und -lagerung
- AP2: Abklären der genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen für die Rückführung der Abfälle nach Deutschland
- AP3: Zusammenstellen der erforderlichen Verfahrensschritte und Prüfungen zur Konditionierung der Abfälle
- AP4: Vorschläge für Transport der konditionierten Abfälle und Zwischenlagerung
- AP5: Zeitplan für Rückführung der Dounreay-Abfälle aufstellen
- AP6: Kostenschätzung für notwendige Maßnahmen
- AP7: Dokumentation und Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die im Berichtszeitraum von UKAEA vervollständigte Analyse der flüssig gelagerten Wiederaufarbeitungsabfälle wurde zugrunde gelegt, um abzuschätzen, welche stoffliche Zusammensetzung ein Abfallgebinde (500-Liter-Fass) nach der Konditionierung haben wird. Die flüssigen Abfälle lagern nach wie vor in einem im Erdboden eingelassenen Tank. Die flüssige Abfallmenge beträgt ca. 40 m<sup>3</sup>. Daraus sollen etwa 200 Fässer mit zementiertem Abfall hergestellt werden.
- AP2: Die für den Transport und die Zwischenlagerung notwendigen Genehmigungsvoraussetzungen wurden untersucht und dazu Anfragen bei und Gespräche mit Betreibern von Zwischenlagern und Transportunternehmen geführt.
- AP3: Das Verfahren zur Zementation der flüssigen Abfälle wurde vom TÜV-NORD bereits 2003 geprüft und als geeignet bewertet. Das BfS hat auf Grundlage der vorläufigen Annahmebedingungen Konrad dem Zementationsverfahren zugestimmt. UKAEA hat den deutschen Forschungsreaktorbetreibern darauf hin eine Anfrage zur Freigabe der Konditionierung vorgelegt.
- AP4: Technische und logistische Ansätze zur Rückführung der Gesamtmenge von ca. 200 Fässern wurden erarbeitet aufgrund von Recherchen dazu bei Behälterherstellern, Transportunternehmen und Betreibern von Zwischenlagern.
- AP5: Noch nicht begonnen.
- AP6: Es wurden Anfragen bei Behälterherstellern, Transportunternehmen und Betreibern von Zwischenlagern gestartet, um Kostenansätze zu ermitteln.
- AP7: Die Gliederung für den Abschlussbericht wurde erstellt und entsprechend dem Stand der Bearbeitung die einzelnen Kapitel im Entwurf geschrieben.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Mit dem Hersteller der Abfallgebinde, UKAEA, soll geklärt werden, wann eine Zementation der 500 Liter-Fässer realistischerweise erfolgen kann. Zudem ist zu klären, in wie weit die vorausberechnete stoffliche Zusammensetzung der Fässer durch das Konditionierungsverfahren erreicht wird.
- AP2: Die genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen zur Rückführung der Abfälle nach Deutschland sollen abschließend geklärt werden.
- AP3: Das zur Anwendung kommende Konditionierungsverfahren wird beschrieben und die bisherigen Prüfergebnisse zusammengestellt.
- AP4: In Zusammenarbeit mit Behälterherstellern, Transportunternehmen und Betreibern von Zwischenlagern sollen weitere, konkrete Vorschläge für eine Rückführung der Dounreay - Abfälle erarbeitet werden. Neben der ursprünglichen Planung, die Fässer direkt zum Endlager Konrad zu transportieren, sollen Möglichkeiten der Zwischenlagerung in Deutschland als Alternativen aufgezeigt werden.
- AP5: Ein Zeitplan für Rückführung der Dounreay - Abfälle wird für realisierbar erscheinende Optionen aufgestellt.
- AP6: Kostenschätzungen für notwendige Maßnahmen (Behälter, Transport, Zwischenlagerung einschließlich der erforderlichen Genehmigungen) werden erarbeitet und zusammengestellt.
- AP7: Dokumentation der Projektergebnisse und Fertigstellung des Abschlussberichtes

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V., Bautzener Landstraße 128, 01314 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8244</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entsorgung von Thoriumverbindungen, Teilprojekt 1 – Erstellung einer Entscheidungsgrundlage zur Verwertung/Entsorgung von Thoriumverbindungen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2004 bis 28.02.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 98.820,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Knappik	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, auf der Grundlage einer Bestandsaufnahme, der Ermittlung und Darstellung potentieller Verwertungs-/Entsorgungsmöglichkeiten sowie mit der Erstellung einer Entscheidungsmatrix einen Beitrag zur Verwertung, zur künftigen Th-Entsorgung bzw. zur Herabsetzung des Gefährdungspotentials von in der Zwischenlagerung befindlicher Th-Verbindungen in Deutschland zu leisten. Beim Vorhaben wird insbesondere das Material aus dem kerntechnischen Bereich betrachtet. In der Entscheidungsmatrix werden wesentliche Angaben zu den einzelnen Verwertungs-/Entsorgungsmöglichkeiten zusammengefasst, notwendige Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für den Bau und Betrieb einer potentiellen Kleinanlage, z.B. zur Umwandlung von Th-Oxalat in Th-Oxid, genannt sowie eine Bewertung auf der Basis festzulegender Kriterien vorgenommen. Das Vorhaben ist quasi ein Verbundprojekt, das im Teilprojekt 1 vom VKTA gemeinsam mit den Unterauftragnehmern ISR des FZ Jülich GmbH, Öko-Institut e.V. und der HTM Reetz GmbH in einem Zeitraum von 11 Monaten bearbeitet werden soll. Mit dem Abschluss dieser Etappe ist die Basis für die Entscheidung geschaffen, ob und in welcher Weise die Verwertung oder Entsorgung realisiert werden kann.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Bestandsaufnahme und Thorium-Charakterisierung

Arbeitspaket 2: Ermittlung und Darstellung gegenwärtiger Verwertungs- bzw. Entsorgungsmöglichkeiten

Arbeitspaket 3: Erstellung einer Entscheidungsgrundlage

Arbeitspaket 4: Projektmanagement, Projekttreffen und Berichtswesen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### Arbeitspaket 1:

- Bei der Th-Bestandsaufnahme gingen nur von 50 % der angeschriebenen Institutionen eine Rückmeldung ein. Man kann davon ausgehen, dass in der Bundesrepublik Deutschland kein Th-Entsorgungsproblem mehr besteht. Lediglich der VKTA verfügt mit >10 Mg Thoriumoxalat über einen beachtlichen, potentiell verwertbaren Th-Bestand.
- Das Thoriumoxalat des VKTA wurde analytisch charakterisiert. Bezüglich einer konventionellen Verwertung sind bestimmte Elementgehalte (insbesondere Fe) als kritisch zu bewerten.

#### Arbeitspaket 2:

- Trotz rückläufiger Verwendung von Thoriumverbindungen in der konventionellen Industrie konnte ein potentieller Abnehmer für größere Th-Oxid- (maximal 1 Mg/a) bzw. – Nitratmengen gefunden werden, wenn der Anlieferer entsprechende Randbedingungen und Produktqualitäten erfüllt. Hinsichtlich des VKTA-Bestandes an Thoriumoxalat wäre eine Umwandlung mit einem Reinigungsschritt (z.B. Abreicherung von Fe) erforderlich.
- Sollen Thoriumverbindungen aus dem kerntechnischen Bereich einer konventionellen Verwertung zugeführt werden, muss der genehmigungsmäßige Übergang aus dem Bereich Tätigkeiten in den Bereich Arbeiten (StrlSchV) geklärt sein. Bezüglich des „Rechtlichen“ Übergangs wurde die zuständige Genehmigungsbehörde des VKTA (Sächsisches Staatministerium für Umwelt und Landwirtschaft) angefragt, die sich weiter an das BMU wandte. Eine Klärung des Sachverhaltes wurde bisher noch nicht erreicht.
- Es erfolgte eine Verifizierung der Beschreibung von Methoden und Verfahren zur Umwandlung und Reinigung von Thoriumverbindungen aufgrund der Ergebnisse der Bestandsaufnahme. Diese Arbeiten werden bis E01/05 fortgesetzt, da im Januar ein Treffen mit dem potentieller Verwerter geplant ist.
- Darstellung zur Nutzung von Thorium im kerntechnischen Bereich (z.B. als Brennstoff) ist abgeschlossen.
- Darstellung zur Langzeitzwischenlagerung und zur endlagergerechten Konditionierung wird unter Beachtung der Bestandsaufnahme verändert, wobei eine zwangsläufige Umwandlung von Thoriumoxalat z.B. in Thoriumoxid nicht erforderlich ist.

#### Arbeitspaket 3:

- Aufgrund des für die Projektbearbeiter unerwarteten Resultates der Bestandsaufnahme muss die vorgesehene Entscheidungsmatrix (Matrixelemente, Bewertungskriterien) überarbeitet werden.

#### Arbeitspaket 4:

- Projekttreffen im Dezember im VKTA

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Projekttreffen im Januar

Termingerechte Fertigstellung des Abschlussberichtes

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universitätsklinikum Essen – Universität Duisburg-Essen, Hufelandstraße 55, 45122 Essen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8254</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Checkpoint Manipulation als Strategie für den Strahlenschutz und für die Strahlensensibilisierung von Säugetierzellen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.07.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.08.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 361.512,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Iliakis	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Identifizierung und Charakterisierung einer neuen Klasse von Verbindungen, die als Radioprotektoren durch Verlängerung des G2-Blocks wirken, und Vor-Einschätzung ihrer möglichen Verwendung im Strahlenschutz für den Menschen.

### Einzelziele:

Ziel 1: Auswertung der Produktion und Exkretion von GAMA in das Wachstumsmedium durch bestrahlte A1-5 Zellen. Standardisierung der Bedingungen für eine Großproduktion von Medium, das mit A1-5 Zellen konditioniert wurde, um es für eine anschließende Charakterisierung und Reinigung von GAMA zu verwenden. Auswertung der Effekte von GAMA auf die G2-Checkpoint-Reaktion mit Hilfe der Durchflusszytometrie.

Ziel 2: Auswertung der Checkpoint-Signale im Zusammenhang mit dem G2-Block und Überprüfung, ob diese Signale nach der Einwirkung von GAMA verändert werden. Auswertung unter Betonung des Pfades, der von ATM/ATR ausgeht, über Chk1/Chk2 und über CDC25C seine Fortsetzung findet, um schließlich zur Phosphorylierung des Serins 15 von Cdk1 zu führen.

Ziel 3: Bestimmung von Größe, Ladung, molekularer Natur und Struktur von GAMA. Bestätigung der Peptid-Natur von GAMA und Analysen unter Verwendung eines Proteinsequenz-Analysators und der Massenspektrometrie.

Ziel 4: Herstellung von mono- und polyklonalen Antikörpern gegen das Peptid. Verwendung dieser Reagenzien, um festzustellen, ob GAMA von einem Vorstufen-Protein abgeleitet wird. Wenn die Antwort positiv ausfällt, Beginn der Klonierung des Gens für dieses Protein.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1.1 Standardisierung der Wachstumsbedingungen
- AP1.2 Standardisierung der C-Med Präparation
- AP1.3 Produktion von C-Med in großem Maßstab
- AP1.4 Auswertung der G2-Arretierung in C-Med, das GAMA enthält
- AP2.1 Effekte von GAMA auf die Cdk1 Kinase
- AP2.2 Effekte von GAMA auf Cdc25C
- AP2.3 Effekte von GAMA auf ATM/Chk2 und ATR/Chk1 Pfade
- AP3.1 Bestimmung der Ladung
- AP3.2 Stabilitätstest
- AP3.3 Die Natur von GAMA

- AP3.4 Reinigungs-Strategie
- AP3.5 Sequenz-Analyse
- AP3.6 Massenspektral- Analyse
- AP4.1 Identifikation des Peptids und Vorstufenproteins
- AP4.2 Antikörper Produktion
- AP4.3 Klonierung der Gene für das Protein

### **3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Die Arbeiten in den letzten vier Monaten zielten darauf, frühere Ergebnisse zu bestätigen, um die Produktion und Wirkung GAMA-ähnlicher Substanzen unter unseren Bedingungen zu überprüfen (GAMA: G<sub>2</sub>-arrest modulating activity).

Eine erfahrene Biochemikerin wurde für das Projekt zum 1. Oktober 2004 eingestellt und hat mit den Experimenten begonnen. Geräte, die für dieses Projekt essentiell sind und die zum Teil aus den USA von Professor Iliakis mitgebracht worden waren, wurden in Gang gesetzt und in ihrer Funktion überprüft. Dies wurde in wenigen Wochen erfolgreich abgeschlossen und hat die Voraussetzung für die Reinigung von GAMA geschaffen.

Anschließend begannen Experimente an für das Projekt notwendigen Zelllinien. A1-5- und T101-Zellen (A1-5-Zellen, z.B., sind Rattenfibroblasten) wurden wieder in Kultur etabliert und es wurde ihre Strahlenempfindlichkeit gemessen. Die dabei gewonnenen Ergebnisse stimmen gut mit früheren Ergebnissen dieser Zelllinie überein. Es zeigt sich, dass tatsächlich A1-5 -Zellen weit strahlenresistenter sind als die T101-Zellen.

Als nächstes sollte nun auch die Checkpoint-Antwort dieser Zellen getestet werden, und die Produktion von GAMA-ähnlichen Substanzen festgestellt werden. Zu diesem Zweck wurden exponentiell wachsende Kulturen Röntgenstrahlung ausgesetzt und die Zellzyklusverteilung mit Hilfe eines Durchflusszytometers gemessen. A1-5-Zellen zeigten dabei einen deutlich längeren Block in der G<sub>2</sub>-Phase des Zellzyklus als die T101-Zellen. Dieser Block war von der Zellkonzentration abhängig und konnte unter Verwendung verbrauchten Mediums reproduziert werden. Dieses Ergebnis ist sehr signifikant, da es zeigt, dass auch unter der im Moment angewendeten Wachstumsbedingung, A1-5-Zellen in der Lage sind, Substanzen zu produzieren und in das Wachstumsmedium auszuschleiden, die die Dauer des G<sub>2</sub>-Blocks beeinflussen, wie die Definition der GAMA-Substanzen vorschreibt. Dadurch sind die Voraussetzungen geschaffen, GAMA in nun größeren Mengen herzustellen und es für die Reinigung durch biochemische Verfahren einzusetzen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die geplanten Weiterarbeiten werden sich an oben aufgestelltem Arbeitsplan halten.

### **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Da dieses Projekt erst vor wenigen Monaten begonnen hat, liegen noch keine Berichte oder Veröffentlichungen vor.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Ludwig-Maximilians-Universität München, Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8264</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Anpassung einer Ionen-Mikrostrahleneinrichtung für Untersuchungen zur Dynamik von geschädigten DNA-Regionen und zur Rekrutierung von Reparaturfaktoren		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.07.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.08.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 221.619,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Friedl	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Durch Ionen-Mikrobestrahlung von markierten Chromatindomänen im Zellkern sollen Untersuchungen zur Dynamik der geschädigten Bereiche und zur Rekrutierung von Reparaturproteinen ermöglicht werden. Dies dient dem Verständnis der Rolle topologischer Faktoren bei der Entstehung von Chromosomenaberrationen. Technisches Ziel des Projektes ist die Adaptation einer bestehenden Ionen-Mikrostrahleneinrichtung für biologische Experimente. Dazu ist es nötig, die Treffergenauigkeit mit physikalischen und mit biologischen Methoden zu charakterisieren und mögliche Störfaktoren zu beseitigen. Zudem muss eine geeignete Zellkammer entwickelt werden und eine Methode zum wieder auffinden bestrahlter Zellen etabliert werden. Schließlich soll die Eignung der entwickelten Systeme durch Lebendzellbeobachtung nach gezielter Bestrahlung subnukleärer Regionen verifiziert werden. Nach Etablierung biologischer Experimente an der Mikrostrahleneinrichtung kann diese auch für andere Projekte aus dem medizinisch-biologischen Bereich genutzt werden. Die Zusammenarbeit von Strahlenbiologen, Zellbiologen und Kernphysikern soll eine interdisziplinäre Ausbildung von Naturwissenschaftlern ermöglichen und dient dem Kompetenzerhalt in der Strahlenforschung.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

**AP1:** Charakterisierung und Verbesserung der Treffergenauigkeit

**AP2:** Entwicklung von Markierungssystemen zum wieder auffinden der Zellen

**AP3:** Weiterentwicklung der Zellkammer für Lebendzellbeobachtung

**AP4:** Praxistest durch Lebendzellbeobachtung nach gezielter Bestrahlung subnukleärer Strukturen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

**AP1:** Zur Bestimmung der Strahlauflösung wurde ein Kernspurdetektor (Polycarbonatfolie) am Zellbestrahlungsort (unmittelbar hinter dem Strahlaustrittsfenster) angebracht und mit 100 MeV Sauerstoffionen in einem Punktgitter mit 5  $\mu\text{m}$  Gitterkonstanten gerastert bestrahlt. Die Bestimmung der Abweichung der Trefferorte von den Zielorten der Bestrahlung ergab anfänglich eine Abweichung in x-Richtung von 0,91  $\mu\text{m}$  (volle Breite bei halbmaximaler Höhe der Verteilung; FWHM) und in y-Richtung 1,6  $\mu\text{m}$  FWHM. Durch eine passive 50 Hz-Korrektur zur Eliminierung parasitärer Magnetfelder entlang des Strahlgangs konnte eine deutliche Verbesserung der Auflösung erreicht werden (0,55  $\mu\text{m}$  in x, 0,40  $\mu\text{m}$  in y). Analoge Versuche, bei welchen die Ionendurchgänge durch Akkumulierung von Reparaturfaktoren in so genannten Foci visualisiert wurden, zeigten eine Streuung der Foci um weitere 0,2  $\mu\text{m}$  schon bei Fixierung der Zellen zum kürzest möglichen Zeitpunkt nach Bestrahlung (ca. 2-5 min). Möglicherweise spiegelt dies durch die Zellkernarchitektur bedingte Einschränkungen möglicher Orte der Focusbildung, oder sofort auftretende kleinräumige Bewegungen des geschädigten Chromatins wider. Im Verlauf von 24 Stunden nach der Bestrahlung nimmt die Streuung der Foci in einer Weise zu, die auf eingeschränkte Diffusion hinweist.

**AP2:** Zur Markierung der Zellträgerfolien kann nun auf ein am Department für Physik der Technischen Universität München entwickeltes Verfahren zurückgegriffen werden. Die Verträglichkeit der eingesetzten Substanzen für die Zellen und die Kompatibilität des Systems mit den experimentellen Gegebenheiten wurde ausgetestet, und die Methode kann nun routinemäßig eingesetzt werden.

**AP3:** Mit der Weiterentwicklung der Zellkammer für Lebendzellbeobachtung wurde noch nicht begonnen.

**AP4:** Es wurde damit begonnen, eine Reihe von Reparatur- und Signalproteinen durch Immunfluoreszenz auf ihre Fähigkeit zur Focusbildung nach Ionen-Mikrobestrahlung hin zu untersuchen. Dies dient zur Identifizierung von Faktoren, die bei der Lebendzellbeobachtung sinnvoller Weise einsetzbar sind, da der am besten untersuchte Focusbildner,  $\gamma\text{-H2AX}$ , für Lebendzellbeobachtung ungeeignet ist. Durch Untersuchung der Rekrutierungskinetik werden v. a. Faktoren gesucht, die möglichst früh am Schadensort akkumulieren.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

**AP1:** Durch gezieltes Bestrahlen von fluoreszenzmarkierten Chromatindomänen soll die Treffergenauigkeit beim individuellen Zielen bestimmt werden.

**AP2:** Dieses Arbeitspaket ist vorerst abgeschlossen. Weitere Arbeiten könnten nötig werden, falls sich bei der Weiterentwicklung der Zellkammer Probleme ergeben.

**AP3:** Es ist geplant, die vorhandenen Zellkammern mittels Bohrungen an ein Mikroperfusionssystem anzuschließen und erste Erfahrungen mit Kulturen von Zellen über mehrere Tage mit diesem System zu sammeln. Zugleich soll die Kompatibilität mit der Mikroskopie am Strahlplatz getestet werden.

**AP4:** Nach Abschluss der Identifizierung und Charakterisierung von geeigneten Focibildnern soll mittels entsprechender Zelllinien (durch verschiedenen Kooperationspartner zur Verfügung gestellt) mit der Lebendzellbeobachtung begonnen werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12200 Berlin		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8274</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Fallversuche mit Brennelement-/HAW-Transport- und Lagerbehältern in Originalgröße		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2004 bis 31.07.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.08.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 335.036,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Droste	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die Stilllegung der deutschen Kernkraftwerke und damit die Zwischenlagerung von hoch radioaktiven Abfällen sowie der darauf folgende Transport zur Endlagerung bedingt die Erforschung stoßartiger Unfälleinwirkungen auf Brennelement-Transport- und Lagerbehälter.

Das Ziel dieses Vorhabens ist die Unterstützung der Versuchsplanung, Instrumentierung der Versuchsobjekte zur Beanspruchungsanalyse sowie die Durchführung und Auswertung von Fallversuchen von Behältern in Originalgröße aus 9 Metern Höhe auf ein unnachgiebiges Prüfstandfundament. Dabei werden die für die Beanspruchungscharakteristik und -höhe relevanten Kennwerte, wie Aufprallverzögerungen und Dehnungen, an allen wichtigen Behälterbauteilen gemessen, so dass eine umfassende quantitative Beanspruchungsanalyse der sicherheitstechnisch relevanten Bauteile der Behälter möglich ist. Im Vorfeld werden entsprechende Berechnungsmodelle und -variationen erstellt und deren Bewertung im Vergleich mit Experimenten durchgeführt. Zusätzlich dienen die Ergebnisse als Basis zur Quantifizierung der Leckagerate des Dichtsystems für die Berechnung der resultierenden Aktivitätsfreisetzung und zur Festigkeitsanalyse der tragenden Teile am Behälter.

Mit den Veröffentlichungen der Untersuchungsergebnisse soll zum einen die wissenschaftliche Nutzung der Ergebnisse, insbesondere zur Versuchsplanung und zum Vergleich von Berechnungsmethoden, gefördert werden, zum anderen soll aber auch das Verständnis für die Sicherheit von Brennelement-Transport- und Lagerbehältern und die Methode zur Prüfung durch Originalbehälterversuche verbessert werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- I. Versuchsplanung und Vorbereitung
- II. Vorausberechnung von Versuchsauswirkungen
- III. Versuchsdurchführung
- IV. Versuchsauswertung
- V. Vergleich von gemessenen und berechneten Behälterbeanspruchungen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Für die Untersuchung von Transport- und Lagerbehältern in Originalgröße wurden die Logistik des An- und Abtransport sowie die Behälterhandhabung in der neu errichteten Fallversuchsanlage der BAM in Horstwalde erfolgreich konzipiert und in der Praxis erprobt.
- Eine Abwurfvorrichtung wurde konstruiert und erprobt, die das momentenfreie Abwerfen von Behältermassen bis 200 t gestattet.
- Vor der Prüfung erfolgte die Erstellung eines behälterspezifischen Versuchsablaufplans, die Vermessung und Dokumentation der Eigenschaften des Prüfmusters, die Aufstellung eines Messstellenplans und des Instrumentierungsablaufs sowie die Dichtheitsprüfung.
- Nach der Anfertigung des Fallversuchsprogramms wurde die Applikation von Dehnungs- und Beschleunigungssensoren an den Messstellen sowie die Verlegung der Messkabel am Behälter vorgenommen.
- Folgende experimentelle Behälteruntersuchungen wurden unter Berücksichtigung der Simulation von Unfallbedingungen durchgeführt:
  - Informativer Vorversuch mit einem 10 t-Behältermodell aus einer Fallhöhe von 9 Metern und einer Behälterorientierung von  $10^\circ$  zur Funktionserprobung
  - Versuch aus einer Fallhöhe von 9 Metern mit einem Prototypen eines Transport- und Lagerbehälters in Originalgröße (CONSTOR<sup>®</sup>, Gesamtmasse 181 t)
- Es wurden umfangreiche dynamische Dehnungs- und Beschleunigungsdaten erfasst.
- Für den Vergleich von experimentellen Messergebnissen erfolgte im Vorfeld die Plausibilitätsbewertung der analytischen Vorausberechnung des Verzögerungs-Zeit-Verlaufs und der auftretenden Spannungen an ausgewählten Behälterpositionen.
- Die nach dem Aufprall entstandenen plastischen Verformungen am Behälter wurden vermessen und durch Fotos sowie Videoaufnahmen dokumentiert.
- Die vor und nach dem Fallversuch durchgeführte Dichtheitsprüfung aller Dichtsystembestandteile wies ausreichende Dichtheit nach.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Auswertung der umfangreichen Messergebnisse des ersten Fallversuches mit dem Behälter CONSTOR<sup>®</sup>
- Vergleichende Bewertung der experimentell ermittelten Dehnungs- und Beschleunigungsdatensätze mit den berechneten Behälterbeanspruchungen
- Vorbereitung und Durchführung weiterer Fallversuche mit Transport- und Lagerbehältern für radioaktives Material in Originalgröße unter Variation der Prüfbedingungen, wie Fallhöhe und Fallorientierung
- Einführung und Erprobung von neuen Messverfahren (digitale Nahbereichsfotogrammetrie zur lateralen relativen Deckelverschiebung) und Korrelation mit Ergebnissen der Dichtheitsprüfung
- Vergleich der Untersuchungsmethoden für Behälter in Modell- und Originalgröße sowie Übertragbarkeitsbetrachtungen hinsichtlich der Fallversuchsergebnisse und des Beanspruchungsverhaltens
- Ableitung von Empfehlungen für weiterentwickelte Berechnungsmodelle

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8284</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchungen zur Sicherheit gegen Behälterkorrosion in Langzeitzwischenlagern		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2004 bis 30.06.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 604.865,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Bach	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist es, Korrosionsschäden an Abfallgebinden zu detektieren, zu analysieren und Instrumentarien zu entwickeln bzw. anzupassen, die eine Beurteilung typischer Korrosionszustände erlauben. Die Ergebnisse sollen eine verbesserte Schadenserkennung und Sanierung in Langzeitzwischenlagern erlauben sowie Hinweise auf notwendige Verbesserungen hinsichtlich Materialeinsatz, Auslegung, Konstruktion und Fertigungsmethoden der zum Einsatz kommenden Gebinde liefern.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Geplante Arbeitsschritte sind:

1. Zusammenstellung von Basisdaten durch Literaturrecherche und Bestandsaufnahme der beschädigten Gebinde in KKW-Zwischenlagern, Landessammelstellen und Forschungszentren.
2. Analyse der Schadensbilder unter Erfassung und Bewertung der die Historie der beschädigten Gebinde betreffenden Parameter.
3. Identifikation der Schadensmechanismen.
4. Ableitung von Schadensszenarien zur Abschätzung und Beurteilung der Schadensabläufe.
5. Durchführung grundlegender Korrosionsuntersuchungen an Modell-Werkstoffpaaren.
6. Untersuchung des Korrosionsverhaltens ausgewählter Werkstoffe in Modell-Umgebungen.
7. Aufnahme von Stromdichte-Potenzial-Kurven für unbelastete Behälter-Werkstoffe sowie für durch Korrosion geschädigte Behälter-Werkstoffe.
8. Entwicklung von Gegenmaßnahmen für potenziell gefährdete Gebinde zur Gewährleistung einer sicheren Langzeitstabilität.

### **3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

- Zusammenstellung relevanter normierter und nicht normierter Korrosionsprüfungen sowie der für die Durchführung und Beurteilung zu beachtenden Kriterien.
- Literaturrecherche zu Korrosion und Korrosionsschutz bei Werkstoffen für den Bau von Behältern zur Aufnahme von radioaktivem Abfall.
- Aufbau und Inbetriebnahme eines elektrochemischen Messplatzes.
- Aufnahme von Referenz-Stromdichte-Potenzial-Kurven an ausgewählten Werkstoffen (Werkstoff-Nr. 1.0037 sowie Stahl mit thermisch gespritzter WC-Keramikbeschichtung).

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Fortführung der Literaturrecherche.
- Elektrochemische Korrosionsuntersuchungen an ausgewählten und unbelasteten Modellwerkstoffen.
- Aufnahme von Stromdichte-Potenzial-Kurven an verschiedenen unlegierten Stählen (z.B. Armco, C45).
- Metallografische Analyse des Probenmaterials.
- Konstruktion eines Modellbehälters.

### **5. Berichte, Veröffentlichungen**

keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07740 Jena		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8294</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Kontrolle biologischer Untersuchungen bei der Dekontamination heterogener, schwach radioaktiv kontaminierter Geosubstrate für die Strahlenschutzvorsorge		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2004 bis 30.09.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2004 bis 31.12.2004	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 508.035,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Büchel	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Messverfahren zur Kontrolle und Optimierung der biologischen Dekontamination heterogener, schwach radioaktiv kontaminierter Geosubstrate sollen entwickelt werden. Durch die Effizienzsteigerung des Entzugs von Radionukliden und Schwermetallen aus Geosubstraten über die Biomasse wird ein substantieller Beitrag zur Strahlenschutzvorsorge geleistet.

Die Untersuchung des prozessabhängigen Verhaltens von natürlich vorkommenden Seltenen Erden Elementen (SEE) wird zur Kontrolle und Optimierung der Aufnahme von Schwermetallen/ Radionukliden aus geogenen Materialien in Pflanzen genutzt. Mittels begleitender, vereinfachter Laborversuche können komplizierte Transferprozesse auf ihre wesentliche physikalische, chemische und biologische Wirkungsweise hin untersucht werden.

Die Ergebnisse sind inhaltlich umsetzbar für die Optimierung anderer Bioremediationsprojekte, für die eine hinreichend große Verfügbarkeit von natürlichen SEE sichergestellt ist. Die Einzelschritte werden im Hinblick auf eine Patentierung überprüft und die Ergebnisse in Lehrveranstaltungen und künftige Forschungsprojekte eingebracht mit dem Ziel eines Kompetenzerhalts im Umgang mit radiogenen Materialien.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

### Laboruntersuchungen

In Gefäßversuchen (10 l-Maßstab) werden Einzelprozesse innerhalb des Geosubstrat-Biomaterial-Interaktionsbereiches, sowie innerhalb einzelner Pflanzenkompartimente betrachtet. Die eingesetzten wässrigen Medien werden chemisch auf den Lösungsinhalt, die SEE-Fraktionierung und teilweise auf die Fraktionierung der stabilen Isotopen ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{34}\text{S}$ ) untersucht. In Kleinlysimeterversuchen wird die Übertragbarkeit auf den Geländemaßstab überprüft.

Batch- und Säulenversuche dienen der Untersuchung des Freisetzungs- und Sorptionsvermögens von Schwermetallen/Radionukliden im Geosubstrat.

### Testfeld Gessenwiese

Auf der Gessenwiese (ehemalige Gessenhalde) wird ein Testfeld eingerichtet, auf welchem ausgewählte Pflanzen angebaut und nach definierten Zeiträumen zu Analysezwecken geerntet werden. Zusätzlich wird das Testfeldareal mit Messinstrumenten (Lysimeter, Klimastation, Sickerwassermessstellen, automatischer Probenehmer) bestückt, um diverse Größen des hydrologischen Kreislaufes zu ermitteln und Probenmaterial zu gewinnen.

### Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft München

Mittels Lysimeterversuchen werden die Transferfaktoren für  $^{90}\text{Sr}$  und  $^{137}\text{Cs}$  an Substraten der Gessenwiese und des Freigeländes des VKTA Rossendorf an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft untersucht.

### VKTA Rossendorf

Um die Übertragbarkeit der bis dato ermittelten Ergebnisse der Labor- und Geländeuntersuchungen zu überprüfen, werden die Resultate auf einen neuen Anwendungsfall projiziert.

## **3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Nach der Recherche zu potentiellen Anbietern der Messgeräte (Lysimeterstation, Sickerwassermessstellen) erfolgte eine intensivere Kontaktaufnahme zu drei Firmen (UIT Dresden, UGT Müncheberg, UMS München). Dabei wurden Gespräche zur technischen Ausstattung der Anlagen geführt, vorhandene Lysimeterstationen besichtigt und eine Inspizierung des Testareals vorgenommen.

Nach der Erstellung von Leistungsverzeichnissen für die Anlagen erfolgte die Ausschreibung von Seiten der zuständigen Institution der Friedrich-Schiller Universität.

Der Standort des Testfeldes auf der Gessenwiese wurde nach den Resultaten von Bodenprobenanalysen nach den Kriterien der höchsten Gehalte an Schwermetallen/SEE festgelegt. Für die Analyse der Inhaltsstoffe des Grund- und Sickerwassers wurden auf dem Testfeld 9 Grundwassermessstellen in systematischer Verteilung errichtet. Diese dienen parallel der hydrologischen Untersuchung des Grundwasservorkommens im Bereich des Testfeldes. Erste Ergebnisse belegen, dass das Grundwasser in diesem Bereich heterogen verteilt ist. Die Resultate der hydrochemischen Untersuchung ergeben ein inhomogenes Bild bei der Verteilung der Lösungsfracht im Testfeld. Isotopenuntersuchungen von 5 Proben werden am UFZ Halle durchgeführt (Ergebnisse liegen noch nicht vor).

In Zusammenarbeit mit der Jena-GEOS Ingenieurbüro GmbH wurden Rammkernsondierungen an den geplanten Lokalitäten für die Errichtung der Lysimeterstation und an der Entnahmestelle des Bodenmonolithen durchgeführt.

## **4. Geplante Weiterarbeiten**

Nach der Auftragsvergabe werden die Arbeiten für die Installation und Inbetriebnahme der Messgeräte durchgeführt. Auf dem Testfeld sind weitere Rammkernsondierungen für die geologische Untersuchung des Untergrundes vorgesehen. Die Probenahme von Wässern wird systematisch fortgesetzt, um neben der räumlichen Verteilung der Inhaltsstoffe die zeitliche Komponente zu erforschen.

Mit den Untersuchungen im Labormaßstab (Gefäßversuche, Kleinlysimeterversuche) wird begonnen.

## **5. Berichte, Veröffentlichungen**

keine



## 2.3 Ausführende Forschungsstellen

### **Brenk Systemplanung, Heider-Hof-Weg 23, 52035 Aachen**

- 02 S 7900 Verbundprojekt: Kontaminierter Beton: Betonfreigabe - Betonrezyklierung  38
- 02 S 8031 Aufbereitung mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation  50

### **Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12200 Berlin**

- 02 S 8021 Entwicklung von Beurteilungsmethoden für Transport- und Lagerbehälter mit erhöhten metallischen Reststoffanteilen -Weiterführende Untersuchungen (EBER III)-  48
- 02 S 8274 Fallversuche mit Brennelement-/HAW-Transport- und Lagerbehältern in Originalgröße  92

### **DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31202 Peine**

- 02 S 8112 Abdichtung von Wagsamkeiten in Salzformationen mit kristallisierenden Evaporitmaterialien (AISKRISTALL)  62
- 02 S 8091 Verbundprojekt: Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen  58
- 02 S 8234 Vorstudie über die Rückführung der Wiederaufarbeitungsabfälle von Brennelementen deutscher Forschungsreaktoren aus der WA Dounreay in Schottland (RETURN)  84

### **Friedrich-Schiller-Universität, Fürstengraben 1, 07743 Jena**

- 02 S 8182 Untersuchungen zur Strahlenschutz-Vorsorge für radionuklidbelastetes Substrat: Mikrobieller Beitrag zur Bioakkumulation aus Bauschutt  76
- 02 S 8294 Kontrolle biologischer Untersuchungen bei der Dekontamination heterogener, schwach radioaktiv kontaminierter Geosubstrate für die Strahlenschutzvorsorge  96

### **Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Planckstraße 1, 64278 Darmstadt**

- 02 S 8203 Genetische Wirkung dicht ionisierender Strahlen - *Strahlenforschung*  78

### **Laserinstitut Mittelsachsen e.V., Technikumplatz 17, 09648 Mittweida**

- 02 S 8162 Verbundprojekt: Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abprodukt-Konditionierung  72

### **Ludwig-Maximilians-Universität München, Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 München**

- 02 S 8264 Anpassung einer Ionen-Mikrostrahleinrichtung für Untersuchungen zur Dynamik von geschädigten DNA-Regionen und zur Rekrutierung von Reparaturfaktoren - *Strahlenforschung*  90

<b>Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Templergraben 55, 52056 Aachen</b>
--

- |           |  |      |
|-----------|--|------|
| 02 S 8071 | Verbundprojekt: Aufbereitung mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation   | 📖 54 |
| 02 S 8152 | Messmethoden zur Charakterisierung radioaktiver Abfälle und zur Freimessung von Reststoffen aus der Stilllegung kerntechnischer Anlagen (MESRAB) | 📖 70 |

<b>Siempelkamp Nukleartechnik GmbH, Siempelkampstr. 45, 47719 Krefeld</b>
---

- |           |  |      |
|-----------|--|------|
| 02 S 8011 | Forschungsvorhaben zur Optimierung der Reststoffverwertung von Metallen -Weiterführende Untersuchungen (FORM III)- | 📖 46 |
| 02 S 8041 | Aufbereitung mineralischer Rückstände durch Aktivitätsseparation   | 📖 52 |

<b>STEAG encotec GmbH, Rüttenscheider Str. 1-3, 45128 Essen</b>
---

- |           |  |      |
|-----------|--|------|
| 02 S 8172 | Entwicklung eines Konditionierungsverfahrens für Kernbrennstoffe aus dem Siemens-Unterrichts-Reaktor (SUR) | 📖 74 |
|-----------|--|------|

<b>Technische Universität Dresden, Mommsenstr. 13, 01062 Dresden</b>
--

- |           |  |      |
|-----------|--|------|
| 02 S 8122 | Verbundprojekt: Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abprodukt-Konditionierung | 📖 64 |
|-----------|--|------|

<b>Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 München</b>
--

- |           |   |      |
|-----------|---|------|
| 02 S 7951 | Entsorgung von Beryllium / Berylliumoxid und Cadmium aus Forschungsreaktoren  | 📖 42 |
| 02 S 8081 | Verbundprojekt: Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen | 📖 56 |
| 02 S 8142 | Selektive Tritium-Extraktion aus Wasser und Bindung auf einen Träger  | 📖 68 |

<b>Universität Hannover, Welfengarten 1, 30060 Hannover</b>
---

- |           |   |      |
|-----------|---|------|
| 02 S 7991 | Entwicklung emissionsarmer und kostengünstiger Verfahrens- und Handhabungstechniken für Dekontaminations- und Abtragverfahren | 📖 44 |
| 02 S 8102 | Erweiterung der Einsatzgrenzen modularer Schneidtechnologien für den kostengünstigen Rückbau kerntechnischer Anlagen, EMOS    | 📖 60 |
| 02 S 8284 | Untersuchungen zur Sicherheit gegen Behälterkorrosion in Langzeitzwischenlagern   | 📖 94 |

<b>Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), 76128 Karlsruhe</b>
--

- |           |   |      |
|-----------|---|------|
| 02 S 7910 | Verbundprojekt: Kontaminierter Beton: Rückbau kerntechnischer Anlagen - Eindringen von Radionukliden in Betonoberflächen und Freisetzung eingedrungener Aktivität aus Bauschutt und Beton | 📖 40 |
| 02 S 8223 | Inaktivierung von Mdm2 nach ionisierender Strahlung – Aufklärung der Signaltransduktionskette - <i>Strahlenforschung</i>  | 📖 82 |

<b>Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66421 Saarbrücken</b>
--

- 02 S 8132 Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung  66  
- *Strahlenforschung*

<b>Universitätsklinikum Düsseldorf, Moorenstraße 5, 40001 Düsseldorf</b>
--

- 02 S 8213 Mechanismen der Zytotoxizität durch Alpha-Strahlung in humanen  80  
normalen und malignen hämatopoetischen Zellen  
- *Strahlenforschung*

<b>Universitätsklinikum Essen, Universität Duisburg-Essen, Hufelandstraße 55, 45122 Essen</b>
---

- 02 S 8254 Checkpoint Manipulation als Strategie für den Strahlenschutz und für  88  
die Strahlensensibilisierung von Säugetierzellen  
- *Strahlenforschung*

<b>Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf, Bautzener Landstraße 128, 01314 Dresden</b>
--

- 02 S 8244 Entsorgung von Thoriumverbindungen, Teilprojekt 1 – Erstellung  86  
einer Entscheidungsgrundlage zur Verwertung/Entsorgung von Thori-  
umverbindungen