

**Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft**

**PTE-S Nr. 11**

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

**Berichtszeitraum: 01. Juli - 31. Dezember 2005**

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

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
März 2006**



## **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.

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 Technologie (BMWi) 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 Schließung 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 Schachanlage 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>93</b>





# **1 Stilllegungsprojekte des BMBF**

## **1.1 FZ Jülich**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Jülich GmbH, Postfach 11 60, 52412 Jülich	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung und Abbau des Forschungsreaktors FRJ-1 (MERLIN)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1996 bis 2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 26,3 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 Reaktortankeinbauten
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 Berichtszeitraum wurden die vorbereitenden Maßnahmen zur Freimessung der Reaktorhalle fortgeführt. Vor diesem Hintergrund wurden im zweiten Halbjahr 2005 im Wesentlichen die nachfolgenden Tätigkeiten durchgeführt:

### 1. Erweiterte Dekontaminationsmaßnahmen

Kernpunkt der im ersten Halbjahr 2005 vorgenommenen konzeptionellen Änderung im Dekontaminations- und Freimessverfahren ist die Durchführung von erweiterten Dekontaminationsmaßnahmen in der Reaktorhalle des FRJ-1, die insbesondere die Entfernung zusätzlicher Decken und Innenwände im Bereich der ehemaligen Systemräume nach sich ziehen. Zur Umsetzung dieser Maßnahmen wurde im Berichtszeitraum ein Detail-Ablaufplan erstellt, dem durch die Aufsichtsbehörde am 08.12.05 zugestimmt wurde. Parallel dazu wurde der Abbau der ca. 500 m<sup>3</sup> Beton ausgeschrieben und vergeben. Im Berichtszeitraum wurden zudem bereits Vorbereitungsmaßnahmen zur Durchführung der Maßnahmen getroffen. Neben der Errichtung einer Einhausung mit Anschluss an die abreinigbare Schwebstofffilteranlage AS 1 (Equipment vom Abbau des Reaktorblocks) wurden zur statischen Absicherung des Abbaubereichs insbesondere über 90 Schwerlaststützen positioniert.

Mit der Erfordernis, erweiterte Dekontaminationsmaßnahmen im oben beschriebenen Rahmen durchführen zu müssen, wurde erkannt, dass die Beschaffung einer neuen Freimessanlage sinnvoll ist. Diese Anschaffung war ursprünglich nicht geplant, jedoch bietet die neue Freimessanlage u. a. die Möglichkeit, das freizumessende Gut, auch gammaspektrometrisch zu untersuchen und so online den zugrunde liegenden Nuklidvektor zu verifizieren. Die beim Rückbau bisher gemachten Erfahrungen zeigen, dass dies eine effektive Maßnahme ist, um später hohe und unkalkulierbare Kosten für Umpackung und Nachdeklaration zu vermeiden, die erfahrungsgemäß weit über den Anschaffungspreis der Freimessanlage in Höhe von 0,4 Mio. € hinausgehen.

### 2. Reaktorwarte, Rangierverteilterraum und Fortluftkamin

Im 2. Halbjahr 2005 wurden die Tätigkeiten betreffend den Abbau von Reaktorwarte und Rangierverteiler-raum sowie den Abbau des Fortluftkamins fortgeführt. Nach Erteilung der behördlichen Zustimmung am 12.07.05 konnten die Tätigkeiten zum Abbau und zur Entsorgung der Reaktorwarte im 2. Halbjahr 2005 abgeschlossen werden. Hinsichtlich des Abbaus des Fortluftkamins wurde die atomrechtliche Zustimmung am 17.08.2005 erteilt. Noch im 2. Halbjahr 2005 konnten die entsprechenden Arbeiten vergeben werden.

### 3. Entsorgung von Dekontaminationsabfällen

Die bei der Dekontamination angefallenen Abfälle konnten im ersten Halbjahr 2005 aufgrund der fehlenden Nuklidvektoren weder freigemessen noch entsorgt werden. Die entsprechenden Vektoren wurden im Berichtszeitraum erstellt und der Aufsichtsbehörde zur Zustimmung eingereicht. Einem Teil der Nuklidvektoren wurde nach entsprechender Begutachtung mittlerweile zugestimmt, so dass im 2. Halbjahr 2005 insgesamt etwa 90 Mg an Dekontaminationsabfällen entsorgt werden konnten, von denen ca. 45 Mg freigemessen wurden.

### 4. Qualifizierung des In-situ-Messverfahrens

Im Berichtszeitraum sind auch die Maßnahmen, die sich mit der Qualifizierung des In-situ-Messgerätes als einem der wesentlichen Freimessverfahren beschäftigen, weiter vorangebracht worden. So hat Mitte Oktober 2005 die Abnahme des In-situ-Messgerätes im Beisein von Aufsichtsbehörde und Gutachter an der In-situ-Gammaspektrometrie-Kalibrierwand K-RISK der Universität Regensburg stattgefunden.

Neben dem oben aufgeführten Tätigkeitsspektrum wurde im 4. Quartal 2005 zudem mit den ersten detaillierten Planungstätigkeiten begonnen, die sich mit der Freimessung der Reaktorhalle beschäftigen.

Trotz der oben dargelegten großen Fortschritte beim Rückbau des FRJ-1 hat ein weiteres unerwartetes Ereignis zu einer Verzögerung des Projektes geführt. Anfang Juli 2005 wurden im Rahmen der Dekontaminationstätigkeiten in der Reaktorhalle des FRJ-1 in zwei Räumen unerwartete Wasseransammlungen entdeckt. Anfängliche Vermutungen es könne sich um eindringendes Grundwasser handeln, konnten im Zuge der anschließenden Untersuchungen jedoch widerlegt werden. Ebenso konnte nachgewiesen werden, dass die vom Wasser benetzten Betonstrukturen keine erhöhten Kontaminationen aufwiesen. Ein entsprechender Ergebnisbericht der Untersuchung wurde vom FZJ erstellt. Aufgrund der Ergebnisse konnte dargelegt werden, dass der unerwartete Fund keine Maßnahmen in den betroffenen Bereichen erforderlich macht, die über die mit der Teilgenehmigung vom 29.11.2004 festgelegten Maßnahmen hinausgehen. Insbesondere dieses Ereignis und die entsprechenden damit zusammenhängenden Tätigkeiten und notwendigen Klärungen haben zu einer Verzögerung des Projektes von gut einem halben Jahr geführt, so dass aus heutiger Sicht als voraussichtlicher Projektabschlussstermin Mitte 2007 genannt werden muss. Dies zieht insbesondere aufgrund von Betriebs- und Personalkosten sowie Inanspruchnahme der Infrastruktur des FZJ für weitere 6 Monate zusätzliche Kosten in Höhe von etwa 0,6 Mio. € nach sich.

## 3. Geplante Weiterarbeit

Mit der Durchführung der erweiterten Dekontaminationsmaßnahmen wird in der 1. KW 2006 begonnen. Der Abschluss der Arbeiten wird Mitte 2006 erwartet.

Der Rückbau des Fortluftkamins wird im Frühjahr 2006 durchgeführt.

Die bislang zu etwa 75 % abgeschlossenen Dekontaminationsmaßnahmen werden nach Abschluss der Abbrucharbeiten an den Innenwänden und Decken fort- und zu Ende geführt. Die daraus resultierenden Dekontaminationsabfälle werden dann online ohne große Pufferlagerung unter Nutzung der dann vollständig vorliegenden Nuklidvektoren aus der Reaktorhalle entsorgt.

Die Planungstätigkeiten, die sich mit der eigentlichen Freimessung der Reaktorhalle beschäftigen werden mit Beginn 2006 intensiviert. Während die Tätigkeiten zur Qualifizierung des In-situ-Messverfahrens nahezu abgeschlossen sind, ist mit der Erstellung von detaillierten Planungsunterlagen, die das Rückzugskonzept und die Vorgehensweise bei der Freimessung (u. a. Festlegung der Messverfahren und der Rasterung) umfassen gerade erst begonnen worden. Hier werden umfangreiche Tätigkeiten zu Anfang 2006 erforderlich.

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

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

## 5. Kosten

Kosten bisher (von 1996 bis 2004):	20,38 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum (geplanter Ansatz 2005, gesamt):	2,2 Mio. €
Zukünftige Kosten:	ca. 3,7 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Land 10 %

<b>Zuwendungsempfänger:</b> AVR GmbH, Postfach 11 60, 52412 Jülich	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Vollständiger Abbau des AVR	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1987 bis 2012	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005
<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 der Systeme im Schutzbehälter weiter fortgesetzt. Die obersten Bühnen sind bis einschließlich der 30-m-Bühne mit Ausnahme infrastrukturell notwendiger Versorgungsleitungen für Energie, Druckluft oder Luftüberwachung frei geräumt. Die Demontearbeiten auf der 25-m-Bühne stehen kurz vor ihrer Beendigung.

Unterhalb des Reaktors wurde als weitere Schwerpunktmaßnahme mit den Arbeiten zur Demontage der Zugabewand, als erste Großkomponente der Beschickungsanlage begonnen.

Die vorbereitenden Arbeiten im Rahmen der Verfüllung des Reaktors mit Porenleichtbeton laufen weiter.

Bei den Bauarbeiten zur Materialschleuse wurde der Stahlbau fertig gestellt und mit der Montage der Fassadenelemente begonnen.

Der Antrag zur Genehmigung des Vollständigen Abbau ist weiterhin in Bearbeitung.

Im Bereich der Restanlagen verlief der Betrieb im Berichtszeitraum ohne Besonderheiten.

Das Mess-Programm zur Überwachung der Bodenkontamination des Betriebsgeländes ist nach wie vor aktuell und wird gemäß den behördlichen Vorgaben kontinuierlich durchgeführt.

Die Aufrechterhaltung des Wechselschichtdienstes aufgrund der verstärkten Bautätigkeiten wird ebenfalls fortgesetzt.

### 3. Geplante Weiterarbeit

- Weiterführung der Demontearbeiten der elektro- und verfahrenstechnischen Anlagenteile im Schutzbehälter
- Abbau der Zugabewand der Beschickungsanlage
- Fertigstellung der Materialschleuse
- Weiterplanung und Durchführung von Versuchen zur Verfüllung des Reaktorbehälters mit Porenleichtbeton

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

Keine zitierfähigen Berichte bzw. Publikationen.

### 5. Kosten

Kosten bisher (von 1987 bis 2004):	217,9 Mio. €
Kosten Januar-Dezember 2005:	22,6 Mio. €
Zukünftige Kosten:	<u>158,2 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> 01.07.2005 bis 31.12.2005
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 113,0 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 Abfallgebinde
- 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

Es fanden weiterhin keine Rückbaumaßnahmen statt.

- MAW-Eindampfanlage, Bau 555  
Die weiteren Rückbau-Maßnahmen 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 (III) Schäden aufgetreten sind, die inzwischen behoben sind, wurde die alte Anlage (II) bis Ende 2005 weiter genutzt. Die Rückbauarbeiten sind daher zurückgestellt worden.

## 3. Geplante Weiterarbeit

LAW-Eindampfung (Bau 545): Keine Aktivitäten wegen Weiternutzung (s. o.) und mangelnder Mittel.

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

Keine

## 5. Kosten

Kosten bisher (von 1994 bis 06/2005):	11,98 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	0,03 Mio. €
Zukünftige Kosten:	100,99 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 2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 301,0 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Brockmann

## 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.

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 übertrugen. 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 laufen die Demontearbeiten am Reaktortank und die Planungsarbeiten für den Abbruch der Wärmeisolierung, der Primärabschirmung und des aktivierten Teils des biologischen Schildes. Von Ende August bis Mitte September 2005 wurden nach ca. einem  $\frac{3}{4}$  Jahr die erste große Revision sowie Instandsetzungs-, Ertüchtigungs- und Verbesserungsmaßnahmen (z. B. Behebung der Beschädigung an der Energiekette, Modifikationen Zerlegewerkzeug) durchgeführt.

Anschließend wurde der 2. Reflektorschuss inkl. Thermischem Schild und Thermoschockblech bis Anfang Dezember komplett demontiert. Die Demontage des 2. Schusses zeigte eine wesentliche Beschleunigung gegenüber dem davor abgebauten 1. Schuss. Im Dezember wurden die anstehenden Wiederkehrenden Prüfungen in der Einhausung durchgeführt. Außerdem wurden weitere Probewaschungen in der Na-Waschanlage durchgeführt. Bis zum Jahresende wurden insgesamt 7 Fässer mit Teilen von Reflektor, Thermischem Schild und Thermoschockblech sowie ein Fass mit Spänen an die HDB abgegeben.

Die Planung zum Paket 2, inklusive der notwendigen Umrüstmaßnahmen, wurde in die Arbeitspakete 1. Demontage Wärmeisolierung, 2. Abbau und Entsorgung Primärabschirmung, 3. Abbau und Entsorgung des aktivierten Teils des Biologischen Schildes mit Einbauten aufgeteilt. Die Ausführungspläne für die Reaktorschachtabdeckung, die Lüftung und die Zerlegung der Primärabschirmung wurden abgeschlossen und die Komponenten bestellt. Um den Vertragstermin für den Abschluss der Demontage des Reaktortanks (Paket 1), 31.10.06, halten zu können, wird zurzeit die Einführung eines 3-Schicht-Betriebes für die laufende Demontage untersucht. Die Gesamtdemontagedauer des direkt anschließenden Pakets 2 wird auf 3 Jahre geschätzt.

Für die Rückholung der 7 Stück Kühlfallen von HDB mit anschließender Nachzerlegung bei KNK wurde der Sicherheitsbericht überarbeitet und erneut eingereicht. Das TÜV-Gutachten zum überarbeiteten Sicherheitsbericht soll Anfang 2006 vorliegen.

Der Antrag zur 10. und letzten Stilllegungsgenehmigung (Rückbau der Waschanlage, des Lüftungs- und Abwassersystems, Freimessung und Gebäudeabriss) wurde 2001 gestellt, allerdings muss der Sicherheitsbericht insbesondere wegen der Belange der neuen Strahlenschutzverordnung noch einmal überarbeitet werden.

### 3. Geplante Weiterarbeit

9. SG: Demontage Reaktortank, Primärabschirmung, Biol. Schild:  
 Paket I - Fortsetzung Demontage Reaktortank mit Reflektor/Thermischer Schild/Thermoschockblech;  
 Paket II - Planung/Beschaffung zu Einhausung für Abbau Wärmeisolierung und zu Abbau Primärabschirmung.
10. SG: Revision Sicherheitsbericht.
- Kühlfallen: Erteilung Genehmigung.

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

Brockmann, K.; Hillebrand, I.; Pfeifer, W.: Dismantling of the Reactor Vessel of the Compact Sodium Cooled Nuclear Reactor Facility (KNK). ANS Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination & Reutilization, Denver, Co, USA, August 7-11, 2005

Brockmann, K.; Graffunder, I.; Minges, J.; Pfeifer, W.: Progress and Difficulties in Dismantling KNK II-Reactor. IAEA Technical Meeting on "The Decommissioning of Fast Reactors after Sodium Draining", CEA Cadarache, September 26-30, 2005

Brockmann, K.; Pfeifer, W.: Dismantling and Sodium Cleaning of the KNK Primary and Secondary Heat Transfer Systems. IAEA Technical Meeting on "The Decommissioning of Fast Reactors after Sodium Draining", CEA Cadarache, September 26-30, 2005

### 5. Kosten

Kosten bisher (von 1992 bis 06/2005):	221,6 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	6,1 Mio. €
Zukünftige Kosten:	73,3 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 2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 290,0 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Eisenmann

## 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Der Mehrzweckforschungsreaktor im Forschungszentrum Karlsruhe war ein schwerwassergekühlter und –moderierter Druckwasser-Reaktor (elektrische Bruttoleistung 57 MW<sub>el</sub>). Von 1965 bis 1984 diente er u. a. als Testreaktor zur Entwicklung von Schwerwasser-Systemen 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 bis 1987 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 bis zur „grünen Wiese“.

Die ersten 6 Schritte sind abgeschlossen.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Nach der abgeschlossenen Zerlegung des Moderatorbehälters im Juni 2005 wurde mit der Zerlegung des 30 t schweren Thermischen Schildes begonnen. Dieser aus fünf Schüssen aufgebaute Zylinder weist für den 1.-4. Schuss eine Wanddicke von 70 mm auf. Beim unteren 5. Schuss wächst die Wanddicke stetig auf 130 mm an. Obwohl der am MZFR eingesetzte Plasmabrenner diese Wanddicke im Mockup erfolgreich trennte, musste im realen Zerlegeinsatz wegen der erwarteten Schlackeanhaftungen auf das mit der Universität Hannover für den Einsatz am MZFR modifizierte und erprobte CAMC-Verfahren (Contact Arc Metal Cutting) ausgewichen werden. Bis Ende September wurden vier der fünf Schüsse des Thermischen Schildes mit dem Plasmaschneidverfahren zerlegt und verpackt. Am 9.11.2005 konnte die Zerlegung des 5. Schusses des Thermischen Schildes mit CAMC erfolgreich abgeschlossen werden.

Die Zerlegung des Thermischen Schilts wurde durch verschiedene Faktoren erschwert bzw. verzögert: a) geringerer Fugenspalt als in den Bestandsplänen ausgewiesen (Greifermodifikationen), b) Verunreinigung des Fugenspaltes mit Sedimenten aus dem Reaktorbetrieb (extrem Sicht behindernde Wassertrübung mit Unterbrechungen des Zerlegeablaufs, weitere Modifikation der Absauganlage „Air-Lift“ für die erhöhten Anforderungen), c) Eintrag von Kohlenstoff durch das CAMC-Verfahren in das RDB-Wasser (Dezember 2005: Ausbildung von biologischen Verunreinigungen), d) Beseitigung der Sedimentrückstände aus der Reaktorbetriebszeit und der Schlackenrückstände aus dem Zerlegeprozess vor dem Bergen der unteren Füllkörper, e) aufwändige Reinigung der unteren Füllkörper vor dem Verbringen auf den Zerlegetisch (Vermeidung von Kontaminationsverschleppung).

Die bei der Unterwasserzerlegung eingesetzten Zerlegeverfahren haben sich insgesamt bewährt, die Plasma- und die CAMC-Schneidanlage arbeiteten sehr zuverlässig und effizient.

Die Planungen des letzten Schrittes der 7. SG, die Trockenzerlegung Teil 3, der die Zerlegung des unteren Füllkörper und des Unterteils des Reaktordruckgefäßes beinhaltet, wurden fortgeführt. Die Fertigung der Einrichtungen war im September 2005 abgeschlossen. Die Funktionen der Einrichtungen für die Demontage der RDB-Isolierung und das Autogenbrennschneiden des RDB-Unterteils wurden dem Gutachter in einem externen Teststand im 4. Quartal 2005 erfolgreich durchgeführt. Die Inbetriebsetzung der dabei weiter zu verwendenden Einrichtungen aus den bisherigen Zerlegabschnitten konnte begonnen werden.

Der Gutachtensentwurf zum 8. Stilllegungsschritt wurde vom Gutachter am 07.07.05 an MZFR übergeben. Die Anpassung der behördlichen Auflagen für die 7.SG an die Erfordernisse der 8. SG wurde mit Behörde und Gutachter besprochen. Mit dem abschließenden Gutachten wird Anfang 2006 gerechnet, so dass die Genehmigung spätestens bis Mitte 2006 vorliegen sollte. Eine für die Erteilung der 8. SG erforderliche „Entwendungspfadanalyse“ wurde erstellt und der Behörde übersandt. Eine abschließende Begehung durch die Behörde und das LKA erfolgte im Oktober 2005.

Auf Grund der Finanzmittelsituation 2004/2005 mussten die Arbeiten zur 8. SG auch in 2005 größtenteils gestoppt werden, um die Planziele der 7. SG erreichen zu können. Die Planungsarbeiten zur 8.SG beschränkten sich auf das zur Genehmigung unumgängliche Maß für die Bearbeitung der Anfragen der genehmigenden Behörde und die Ausschreibung und Beauftragung des Abbruchgerätes. Dies führt zu Verzögerungen ab 2006 ff.

### **3. Geplante Weiterarbeit**

7. SG (Zerlegung RDB mit Einbauten): Trockenzerlegung Teil 3 - unterer Füllkörper; Revision Betriebshandbuch;

8. SG (Rückbau des aktivierten Teils des Biologischen Schiltes, Dekont. und Abriss Gebäude): Lieferung Abbruchbagger, Erstellung Leistungsbeschreibung für Mockup des Biologischen Schiltes, Gespräche über Gutachten-Entwurf; aufgrund der Mittelsituation weitere Maßnahmen zurückgestellt.

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

Eisenmann, B.: MZFR-Kugelbefüllanlage, MZFR-NZ, DPD-Nr. 10 2004 059 216.0 -54. Deutsches Patent- und Markenamt, 19.12.2005

### **5. Kosten**

Kosten bisher (von 1985 bis 06/2005):	225,5 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	8,3 Mio. €
Zukünftige Kosten:	56,2 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> 01.07.1991 bis 31.12.2014	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.045,0 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 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: Vorwiegend fernbedienten Ausräumung der Prozesszellen (abgeschl.), Auslagerung der Laboratorien aus dem Prozessgebäude (abgeschl.), Entkopplung des HAWC-Reservelagers (HWL) vom Prozessgebäude (abgeschl.), Demontage aller restlichen Verfahreseinheiten sowie der Hilfs- und Nebeneinrichtungen (in Arbeit), Feindekontamination und Freimessen aller Räume (in Arbeit).
4. Deregulierung der HAWC-Lageranlagen (LAVA, HWL) und der Verglasungseinrichtung Karlsruhe (VEK) nach Abschluss der HAWC-Verglasung, s. u. (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 Schritte 4 bis 6 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. Bis zum Abschluss der Verglasung muss der HAWC-Lagerbetrieb routinemäßig weitergeführt werden.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Im Projekt Rückbau WAK lag der Schwerpunkt der Arbeiten im Prozessgebäude (PG) weiterhin auf dem Freischneiden der Betondurchführungen mit kontaminierten Rohrleitungen, dem

Wandabtrag sowie der Demontage von Kabeltrassen, Lüftungskanälen etc; sie mussten aber aufgrund von Mittelkürzungen deutlich gedrosselt werden. Das Probenahme-Programm in allen Räumen des PG (Aktivität, Asbest, PCB) ist zu 60% durchgeführt; die Planung für die Sanierung der Lüftungssteuerung im PG wurde weitergeführt. Der Rohbau des HWL-Anbaus Süd (zur Erschließung des HAWC-Lagers HWL zum späteren Rückbau der MAW- und HAWC-Lagerbehälter) wurde fertig gestellt, die technischen Einrichtungen wurden bestellt.

Das Gutachten für den fernbedienten Rückbau der MAW-Lagerbehälter im HWL liegt vor; der Antrag auf fernbediente Demontage der HAWC-Behälter in HWL und LAVA wurde bis zum Abschluss der Konzeptprüfung zu Schritt 5 zurückgestellt (s. u.).

Die Gewerke Maschinentechnik und Verfahrenstechnik der VEK wurden abgenommen; die Inbetriebnahmearbeiten laufen. Die Brandmeldeanlage und die Kommunikationseinrichtungen sind in Betrieb. Die Ersatzteilplanung und –Beschaffung wurde fortgeführt sowie erste Wartungsverträge abgeschlossen. Alle für den späteren Kokillen-Abtransport erforderlichen Behälter vom Typ CASTOR HAW20/28 sind geliefert.

Die erste Teilbetriebsgenehmigung (1. TBG) für den inaktiven Verbundbetrieb der Gesamtanlage) wurde im Dezember erteilt. Die Unterlagen für die 2. TBG werden weiter erarbeitet.

### 3. Geplante Weiterarbeit

#### *WAK-Rückbau:*

Schritt 3: Die Rückbautätigkeiten im Prozessgebäude werden nach einer Bestands- und Aufräumphase im ersten Quartal 2006 zunächst ab April 2006 eingestellt.

Auslagerung Emissionsüberwachung u. Strahlenschutz aus dem PG: Die Auslagerung wird nach Durchführung aller Abnahmen im 1. Halbjahr 2006 abgeschlossen.

Schritt 5: Innenausbau HWL-Anbau Süd, Genehmigung Demontage MAW-Behälter wird im Januar 2006 erwartet. Die Errichtung des HWL-Anbaus Süd wird programmgemäß 2006 abgeschlossen. Das weitere Vorgehen zu Schritt 5 – insbesondere der Abbau der HAWC-Behälter – wird im Rahmen einer Konzeptüberprüfung in Hinsicht auf die stark gestreckte Projektabwicklung überdacht.

#### *VEK:*

Antragsunterlagen für 2. Teilbetriebsgenehmigung (TBG): Begutachtung Betriebliche Regelungen; Gutachten u. Genehmigung 2. TBG;

Mängelbeseitigung: Umbau der Lüftungssteuerung, Verfahrenstechnik;

Kalte Inbetriebsetzung: Restliche Funktionsprüfungen und Inbetriebsetzung der Gesamtanlage;

Ausbildung Personal für 2. TBG; inaktiver Betrieb mit ca. 15 m<sup>3</sup> HAWC-Simulat;

Zwischenlagerung: Unbedenklichkeitsbestätigung durch das BfS.

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

Keine

### 5. Kosten

Kosten bisher (von 7/1991 bis 06/2005):	1.153,8 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	49,1 Mio. €
Zukünftige Kosten:	842,1 Mio. €
Geldgeber:	WAK-Fonds 100 %
	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> <i>Jahresbericht 2005</i>
<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 Hauptpförtner 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 fortgesetzt 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 2005 ist für die sicher eingeschlossene Anlage THTR 300:

- das 16. Jahr nach der Abschaltung,
- das 10. Jahr nach der Beendigung der Entladung des Reaktorkerns,
- das 8. 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 2005 war kein meldepflichtiges Ereignis zu verzeichnen.

2005 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 diverse Kleinkomponenten (u. a. Messumformer, Nadelventile, Magnetventile, Kleinleitungen) ausgebaut und einer Hochschule für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung gestellt.

Weiterhin wurde ein Vorgespannter Guss-Druckbehälter (VGD-S) mit einem Gesamtgewicht von ca. 200 Mg zerlegt und der Verwertung zugeführt. Dieser Behälter war bereits während der Herstellung des sicheren Einschlusses aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen worden und konnte daher ohne Einbindung der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde abgebaut werden.

Die seit 1999 im Brennelementzwischenlager Ahaus laufenden Nacharbeiten an den dort eingelagerten Castor THTR/AVR-Behältern zur Beseitigung von Korrosionsschäden konnten insofern abgeschlossen werden, als alle 305 Behälter überarbeitet worden sind und wieder an ihrem Lagerstandplatz stehen. Im Laufe des Jahres 2006 soll auch der Austausch von Tragzapfenbefestigungsschrauben an 108 der 305 Behälter auf Grund neuer Auslegungsvorschriften für das zulässige Anzugsmoment dieser Schrauben fertig gestellt sein.

**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:

60 Mio. €

Geldgeber:

Bund, Land NRW, Gesellschafter der HKG



### **1.3 Schachtanlage Asse**

<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> 01.07.2005 bis 31.12.2005
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 469 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Kappei

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Die während der Zeit der Salzgewinnung zwischen 1916 und 1964 im Jüngerem 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 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“

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

## 2. Stand des Projektes

### Resthohlraumverfüllung und Verfüllung des Tiefenaufschlusses

Die Abbaue und Abbaubegleitstrecken in der Südflanke der Schachanlage Asse sind nahezu vollständig verfüllt. Die Verfüllaktivitäten im verbleibenden Teil des Grubengebäudes werden als Baumaßnahme „Resthohlraumverfüllung“ weitergeführt. Die Verfüllung des Tiefenaufschlusses unterhalb der 775-m-Sohle wurde fortgesetzt. Nach der Montage der nötigen Förderbänder und Kippeinrichtungen über Tage und auf der 925-m-Sohle wurde mit der Verfüllung der unterhalb des Schachtes 4 angelegten Kaverne mit Diabasschotter begonnen.

### Einbringung von Schutzfluid

Nach Fertigstellung der Anlagen zur Annahme und Zwischenspeicherung von Schutzfluid einschließlich der erforderlichen Rohrleitungen für den Transport von über Tage bis zur 975-m-Sohle erfolgte die Flutung der Porenräume des in die Zugangsstrecke zu den Salzlösungs-Speicherstrecken auf der 975-m-Sohle eingebrachten Versatzmaterials mit Schutzfluid.

### Aufgefangene Steinsalzlösung

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften der aufgefangenen Lösung blieben unverändert. Die Lösung wird nicht mehr dem Verfüllmaterial zugegeben, sondern nach über Tage gepumpt und mit Tanklastzügen abtransportiert.

### Produktion von Baustoff

Auf der 700-m-Sohle wurden die Anlagen zur Produktion von Baustoff und zur Salzspeicherung fertig gestellt und im 3. Quartal 2005 in Betrieb genommen. Als Erstes lieferte die Anlage Sorelbeton zum Verfüllen nicht mehr benötigter Strecken auf der 750-m-Sohle.

### Qualitätssicherung

Für die Qualitätssicherung von Schutzfluid/Anmachflüssigkeit und Salz-/Baustoffuntersuchungen wurde das Laborgebäude fertig gestellt. Die Einrichtung des Labors erfolgt zurzeit.

### Machbarkeitsstudie Druckluft

Die Machbarkeitsstudie „Drucklufteinspeisung zur Stabilisierung der Grubenbaue ...“ wird zurzeit unter Berücksichtigung der vorliegenden Bemerkungen der Gutachter des Landesbergamtes als Konzeptstudie überarbeitet.

### Sicherheit in der Betriebsphase

Das geotechnische Kontroll- und Überwachungssystem zur sicherheitstechnischen Beurteilung der gebirgsmechanischen Ist-Zustände des Tragverhaltens der Haupttragelemente - der Pfeiler - des Grubengebäudes an der Asse-Südflanke wurde weiter betrieben. Es bestätigt die positive Wirkung der Versatzmaßnahme auf den Erhalt der Resttragfähigkeit der Tragelemente. Aus gebirgsmechanischer Sicht ist damit die Sicherheit der Schachanlage Asse in der Betriebsphase gewährleistet.

### Strahlenschutz und Umgebungsüberwachung

Schwerpunkte der Arbeiten im Strahlenschutz sind die Überwachung der Aerosolaktivitätskonzentration (Radon-Folgeprodukte) in der Grubenluft und die radiologische Überwachung der zutretenden Salzlösung auf der 750-m-Sohle in der Nähe der Einlagerungskammern.

Die Ermittlung des Abfallinventars ist abgeschlossen. Die Abschlussberichte wurden der Behörde als prüffähige Unterlagen übergeben.

### Projekt Langzeitsicherheit

Aufgrund geochemischer Untersuchungen an der zutretenden Salzlösung kann der in den Rechnungen zum Radionuklidtransport angesetzte Verdünnungsfaktor aufrechterhalten werden. Ohne diesen Faktor wäre das radiologische Schutzziel nicht einzuhalten. Ungeachtet dessen werden die Arbeiten am hydrogeologischen Deckgebirgsmodell fortgesetzt, um gegebenenfalls Sorptionseffekte oder Transportzeiten berücksichtigen zu können.

Neueste Erkenntnisse zur Geochemie in den Einlagerungskammern haben ergeben, dass der in den Transportrechnungen angesetzte Quellterm für Radionuklide nicht mehr zum Ansatz gebracht werden kann. Damit wird Plutonium zum expositionsbestimmenden Radionuklid. Erste orientierende Rechnungen haben gezeigt, dass mit einer Überschreitung des radiologischen Schutzziels gerechnet werden muss.





## **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> 01.07.2005 bis 31.12.2005
<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

Der Rückbau des Reaktors **TRIGA Heidelberg II** ist abgeschlossen.

- Das von uns ausgewählte hydraulische Spreizverfahren hat sich sehr gut bewährt, insbesondere auch in Bezug auf die Vermeidung von Lärm und Vibration. Nach einigen anfänglichen Schwierigkeiten - es waren Verankerungen und Bewehrungen vorhanden, die in den Plänen nicht eingezeichnet waren - wurde der Rückbau am 27.07.05 abgeschlossen.
- Einige Nacharbeiten werden noch durchgeführt. Das eingebrachte Equipment und Werkzeuge wie mobile Lüftungsanlage, Einhausung, Kompressor und Druckluft- Behälter etc. werden gereinigt, frei gemessen, ausgeschleust und abtransportiert.
- Einige Komponenten aus der Betriebszeit wie Reaktorelektronik, MSRE, Asbestentsorgung an Durchbrüchen werden in der kommenden Zeit ebenso abgebaut wie der Hallenkran.
- Letzte Transporte mit radioaktivem Abfall aus HD II zu HDB nach Karlsruhe (FZK) wurden durchgeführt, ebenso sind die letzten Freimesskampagnen abgeschlossen.
- Die Freimessung des Gebäudes erfolgt mit Zustimmung der Behörde; der Antrag auf Freimessung der Gebäudestrukturen nach § 29 SSV ist gestellt und durch die Aufsichtsbehörde positiv beschieden.
- Die Freimessung des Biologischen Schildes wird derzeit mit In-situ-Verfahren durchgeführt.

Nach Abschluss der Messungen wird die Entlassung aus dem Atomgesetz (AtG) beantragt, und die Übereinstimmung der Messwerte mit den Freigabewerten in der Strahlenschutzverordnung festgestellt. Daraufhin erfolgt die Bestätigung, dass die Anlage nicht mehr der atomrechtlichen Überwachung unterliegt.

### **TRIGA HD I:**

Die Kosten für den Rückbau des TRIGA Heidelberg I sind im Gesamtprojekt „Stilllegung TRIGA Heidelberg“ ausgewiesen, der Rückbau wird ebenfalls durch den Generalunternehmer GNS Essen durchgeführt.

- Der Sicherheitsbericht für den Rückbau des TRIGA HD I ist erstellt und der Behörde und dem Gutachter eingereicht; das Gutachten des TÜV liegt seit Anfang des Monats Dezember 2005 vor.
- Die Nachtragsgenehmigung zur Stilllegungsgenehmigung von 1980 der im Sicheren Einschluss verbliebenen Anlage wird für Anfang Januar 2006 erwartet.
- Die radiologische Istdandsaufnahme des ganzen Hauses wurde von GNS durchgeführt. Hierbei musste festgestellt werden, dass von Seiten der Universität, die das Gebäude 25 Jahre (auch mit radioaktiven Arbeiten) genutzt hat, keine Freimessung nach § 29 StrlSchV erfolgte.
- Diese Freimessung wird durch DKFZ/ GNS nachgeholt, der Antrag liegt dem Umweltministerium B-W vor. Das Gebäude wird durch die Universität abgerissen. Der Antrag auf Abriss ist seitens der Universität gestellt.
- Auch die Anlage TRIGA Heidelberg I muss aus der atomrechtlichen Überwachung freigegeben werden.

## 3. 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> 01.07.2005 bis 31.12.2005
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 33,3 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> N. Stehr

### 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-1 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)  
Konditionierungsarbeiten, Verbrennung und Verpressung der FRG- und OHA-Abfälle sowie Analysen und ggf. Trocknung der bereits konditionierten Gebinde bei FZK/HDB und zugehörige Sachverständigentätigkeiten. Mengenerhöhung um weitere 180 Fässer.
- FRG flüssige Abfälle (236)  
Abtransport von 70 m<sup>3</sup> Abwasser zur Verarbeitung und Fremdkonditionierung.
- Aufarbeitung bestrahlter OH-Versuchsbrennstäbe (223)  
Übergabe von VPU für die Genehmigung von Fertigung und Einsatz Kapseln und Kapselköcher zum Transport. Abstimmung mit EWN und FZK betr. Zwischenlagerung EWN/Lubmin: Vertragsunterzeichnung GKSS/FZK ist erfolgt.
- Rücknahme Dounray (233)  
Probennahme und Ergebnispräsentation sowie Sachverständigenprüfung ist erfolgt. DBE-Studie wurde vorgelegt.
- Längerfristige Zwischenlagerung (227, 237, 239)  
Weitere Abwicklung notwendiger Wartungs- und Infrastrukturmaßnahmen (Wartung / Instandhaltung im Heißen Labor, Vorbereitung Rückbau Bleizellen im Heißen Labor, Sachverständigentätigkeit).

## 3. Geplante Weiterarbeit

- Konditionierung LAW (221, 231): Verbrennung, Einschmelzung FRG- und OH-Abfälle, HD-Verpressung, Durchführung der restlichen Konditionierungsarbeiten;
- Abwasser (236): Abtransport betrieblicher Abwässer zur Fremdaufbereitung bei FZJ;
- OH-Brennstäbe (223): Vorbereitende Arbeiten für die Zwischenlagerung in Lubmin entsprechend Vertrag GKSS-FZK;
- Konditionierung MAW (221, 231, 232): Datenzusammenstellung, Konzept- und Informationsbearbeitung, Koordinierung;
- Längerfristige Zwischenlagerung (227, 237, 239): Bereitstellung erforderlicher Infrastrukturmaßnahmen, Gewährleistung der sicheren Zwischenlagerung, Demontage Bleizellen im Heißen Labor.

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

Keine

## 5. Kosten

Kosten bisher (seit 01/2002):	15,2 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	2,8 Mio. €
Zukünftige Kosten:	18,1 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Länder 10 %





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

### 2.1 Fördervorhaben

<b>02 S 7951</b>	Entsorgung von Beryllium / Berylliumoxid und Cadmium aus Forschungsreaktoren	<b>TU München</b>	📖 38
<b>02 S 7991</b>	Entwicklung emissionsarmer und kostengünstiger Verfahrens- und Handhabungstechniken für Dekontaminations- und Abtragverfahren	<b>Universität Hannover</b>	📖 40
<b>02 S 8011</b>	Forschungsvorhaben zur Optimierung der Reststoffverwertung von Metallen. Weiterführende Untersuchungen (FORM III)	<b>Siempelkamp, Krefeld</b>	📖 42
<b>02 S 8021</b>	Entwicklung von Beurteilungsmethoden für Transport- und Lagerbehälter mit erhöhten metallischen Reststoffanteilen -Abschließende Untersuchungen (EBER III)-	<b>BAM, Berlin</b>	📖 44
<b>02 S 8102</b>	Erweiterung der Einsatzgrenzen modularer Schneidtechnologien für den kostengünstigen Rückbau kerntechnischer Anlagen, EMOS	<b>Universität Hannover</b>	📖 46
<b>02 S 8112</b>	Abdichtung von Wegsamkeiten in Salzformationen mit kristallisierenden Evaporitmaterialien (AISKRIS-TALL)	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 48
<b>02 S 8122</b>	Verbundprojekt: Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abprodukt-Konditionierung	<b>TU Dresden</b>	📖 50
<b>* 02 S 8132</b>	Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung	<b>Universität des Saarlandes</b>	📖 52
<b>02 S 8142</b>	Selektive Tritium-Extraktion aus Wasser und Bindung auf einen Träger	<b>TU München</b>	📖 54
<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>	📖 56
<b>02 S 8162</b>	Verbundprojekt: Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abprodukt-Konditionierung	<b>Laserinstitut Mittelsachsen e.V., Mittweida</b>	📖 58
<b>02 S 8172</b>	Entwicklung eines Konditionierungsverfahrens für Kernbrennstoffe aus dem Siemens-Unterrichts-Reaktor (SUR)	<b>STEAG encotec GmbH, Essen</b>	📖 60
<b>02 S 8182</b>	Untersuchungen zur Strahlenschutz-Vorsorge für radionuklidbelastetes Substrat: Mikrobieller Beitrag zur Bioakkumulation aus Bauschutt	<b>Friedrich-Schiller-Universität, Jena</b>	📖 62

* 02 S 8203	Genetische Wirkung dicht ionisierender Strahlen	<b>Gesellschaft für Schwerionenfor- schung mbH, Darmstadt</b>	📖 64
* 02 S 8213	Mechanismen der Zytotoxizität durch Alpha-Strahlung in humanen normalen und malignen hämatopoetischen Zellen	<b>Universitätsklinikum Düsseldorf</b>	📖 66
* 02 S 8223	Inaktivierung von Mdm2 nach ionisierender Strahlung – Aufklärung der Signaltransduktionskette	<b>Universität Fride- riciana zu Karls- ruhe (TH)</b>	📖 68
02 S 8234	Vorstudie über die Rückführung der Wiederaufarbeitungsabfälle von Brennelementen deutscher Forschungsreaktoren aus der WA DOUNREAY in Schottland (RETURN)	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	📖 70
* 02 S 8254	Checkpoint Manipulation als Strategie für den Strahlenschutz und für die Strahlensensibilisierung von Säugetierzellen	<b>Universitätsklinikum Essen</b>	📖 72
* 02 S 8264	Anpassung einer Ionen-Mikrostrahleinrichtung für Untersuchungen zur Dynamik von geschädigten DNA-Regionen und zur Rekrutierung von Reparaturfaktoren	<b>Ludwig- Maximilians- Universität Mün- chen</b>	📖 74
02 S 8274	Fallversuche mit Brennelement-/HAW-Transport- und Lagerbehältern in Originalgröße	<b>Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Ber- lin</b>	📖 76
02 S 8284	Untersuchungen zur Sicherheit gegen Behälterkorrosion in Langzeitzwischenlagern	<b>Universität Han- nover</b>	📖 78
02 S 8294	Kontrolle biologischer Untersuchungen bei der Dekontamination heterogener, schwach radioaktiv kontaminierter Geosubstrate für die Strahlenschutzvorsorge	<b>Friedrich-Schiller- Universität Jena</b>	📖 80
02 S 8305	Abbruch massiver Betonbauwerke der Energietechnik	<b>Universität Fride- riciana zu Karls- ruhe (TH)</b>	📖 82
02 S 8315	Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen	<b>Forschungszent- rum Jülich GmbH</b>	📖 84
02 S 8325	Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen	<b>Technische Univer- sität München</b>	📖 86
* 02 S 8335	Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung	<b>Universität des Saarlandes</b>	📖 88

- \* **02 S 8345** Aufbau eines Systems isogener stabil diploider humaner Zelllinien mit gezielt durch RNA-Interferenz ausgeschalteten Genen zur Analyse des Zusammenhanges von DNA-Reparaturdefizienz, genomischer und chromosomaler Instabilität

**Ludwig-  
Maximilians-  
Universität Mün-  
chen**

 90

- \* **Strahlenforschungsvorhaben**



## **2.2 Formalisierte Zwischenberichte**

<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 31.03.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<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

- Validierung einzelner H-3-Freisetzungsversuche.
- Fertigung des Tragkorbs.
- Die Verpackung der 24 Berylliumreflektoren in einen Gussbehälter wurde im Hinblick auf die Einhaltung von Transportbedingungen sowie Zwischen- und Endlagerbedingungen abschließend konzeptionell bewertet. Gegen die längerfristige Zwischenlagerung der Be-Reflektoren ergeben sich aufgrund des vorliegenden Konditionierungskonzeptes nach derzeitigem Kenntnisstand keine Bedenken.
- Eine Endlagerung des beladenen Gussbehälters ist nach derzeitigem Konditionierungskonzept ohne weiterführende Maßnahmen bzw. Behandlungsschritte (wie z.B. Abklinglagerung, höher qualifizierte Abfallproduktgruppe und/oder Abfallbehälterklasse) derzeit nicht möglich.
- Hinsichtlich der Garantiewerte für Radionuklide, die aus der Sicherheitsanalyse für den bestimmungsgemäßen Betrieb resultieren, kommt es für H-3 mit einem Aktivitätsinventar von  $4\text{E}+14$  Bq zu einem drastischen Überschreiten des entsprechenden Garantiewertes von  $1,9\text{E}+11$  Bq für metallische Abfälle und einer Tritium-Spezifikation als HT. Aufgrund des anzunehmenden Vorliegens von H-3 in den Berylliumreflektoren als HT hat eine spezifizierte Dichte der verwendeten Verpackung keinen Einfluss auf den H-3-Garantiewert. Zum Bezugsdatum 2005 entspricht das H-3-Aktivitätsinventar des mit den Berylliumelementen beladenen Gussbehälters ca. 20 % des Richtwertes für die jährlich in die Schachanlage Konrad einlagerbare H-3-Aktivität. Zeigt die H-3-Bilanzierung für ein Betriebsjahr der Einlagerung von radioaktiven Abfällen in der Schachanlage Konrad, dass der H-3-Richtwert der pro Jahr einlagerbaren Aktivität von  $1,9\text{E}+15$  Bq nicht ausgeschöpft wird, kann auch ein Abfallgebilde eingelagert werden, das den H-3-Garantiewert nicht einhält. In diesem Fall ist die Zustimmung des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) vor einer Anlieferung der betreffenden Abfallgebilde erforderlich.
- Gemäß dem Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerks Konrad als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vom 22.05.2002 ist zusätzlich zum radioaktiven Inventar eine Einlagerung von 24,5 kg Beryllium zulässig. Dieser Wert liegt deutlich unterhalb der einzulagernden Beryllium-Masse des FRM von ca. 170 kg. Dieser Sachverhalt wurde im Rahmen der Präsentation der Ergebnisse der Untersuchung der Berylliumreflektoren am 6.10.2005 in Salzgitter dem BfS mitgeteilt.
- Des Weiteren wurden die für ein genehmigungsfähiges Konditionierungskonzept erforderlichen Unterlagen hinsichtlich folgender Aspekte dargestellt: BfS-Ablaufplan mit Verfahrensbeurteilung, Ableitung radioaktiver Stoffe im bestimmungsgemäßen Betrieb und bei Störfällen, Strahlenschutzmaßnahmen und Erstellung der Dokumentation.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Rücktransport von Be-Element Nr. 21 zu FRM I.
- Im Hinblick auf Verlängerung des Vorhabens sind die folgenden Arbeiten geplant:
- Validierung der H-3-Freisetzung durch Messungen am beladenen Behälter. Hierzu gehören Vorbereitung und Anbringen der notwendigen Instrumentierungen am Behälter, Probennahme und anschließende Analyse auf H-3.
- Durchführung von zusätzlichen Modellrechnungen zum Temperaturverlauf im Behälter beim Störfall „Brand“ im Endlager (liegender Behälter).

### 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> 01.07.2005 bis 30.09.2005	
<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**

Trockeneis-Laserstrahlen:

- Konstruktion und Entwicklung von neuen Trockeneisstrahldüsen abgeschlossen
- Untersuchungen zur Abtragleistung der neu entwickelten Strahldüsen bei einer Laserleistung bis 1,9kW zum Abtrag von Lack und Beton abgeschlossen
- Untersuchungen mit der entwickelten Vor-Ort Absaugung für das Trockeneis-Laserstrahl-Verfahren abgeschlossen
- Abschließendes Projekttreffen durchgeführt

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Aufarbeitung und Darstellung der Ergebnisse im Abschlussbericht

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

Bach, Fr.-W.; Brüggemann, P.; Verseemann, R.: Abtragen und Entschichten von mineralischen und organischen Werkstoffen; 7. Internationales Symposium: „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“, KONTEC 2005, 20.-22.April 2005, Berlin

Verseemann, 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.; Brüeggemann, P.; Verseemann, R.: Dry ice laser beam blasting; Advanced Laser Applications Information Exchange, Aladdin Resort&Casino, Las Vegas, Nevada, 6.-7. July 2005

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Siempelkamp Gießerei GmbH & Co., Siempelkampstraße 45, 47803 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 31.03.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.054.850,00 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  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). 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  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 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 (5 m-Fall bei  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- VI Nachuntersuchungen: Probennahme aus Hohlprofilen und beiden Referenzbehältern. Untersuchungen auf Rissinitiierung. Zug- und Bruchmechanik-Eigenschaften im Stück.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Die dynamischen FE-Berechnungen des 5m Falls des Gusscontainers Typ VII wurden mit gegenüber FORM II verbesserten Codes fortgeführt. Die Berechnung des Bodenfalls des kubischen Containers ist erheblich komplizierter als die Berechnung des Mantellinienfalls des zylindrischen Behälters. Verbesserungsbedarf besteht vor allem bzgl. der Interaktion des Containers mit dem Fundament. Die Berechnungsergebnisse wurden vor dem Fallversuch als zu konservativ eingeschätzt.
- Es wurde entschieden, für die Wiederholung des Fallversuchs in FORM II nicht alle 5 Kerben des Gusscontainers zu vergrößern. Nur der Kerb in Bodenmitte wurde auf 16 mm vertieft. Dies entspricht 10% der Wandstärke. Für den bruchmechanischen Sicherheitsnachweis ergibt sich dieser Wert aus den aktuell geltenden Ultraschallprüfvorschriften. Sonst blieb der Gusscontainer unverändert gegenüber seinem ersten Einsatz und wurde der BAM übergeben.
- Der zylindrische Gussbehälter FORM III wurde mit einem 15 mm tiefen Kerb (entsprechend 10% seiner Wandstärke) fertiggestellt und der BAM übergeben. Die Lage des Kerbs wurde entsprechend der Lage des Spannungsmaximums (flacher Verlauf) festgelegt. Im vorangegangenen Fallversuch mit einem anderen Behälter in FORM II betrug die Kerbtiefe 4,5 mm.
- Die Spitzen der Kerben hatten erheblich schärfere Radien als diejenigen in 2001.
- Die Fallversuche wurden Ende 3./Anfang 4. Quartal auf dem BAM-Versuchsgelände Horstwalde bei einer Prüftemperatur von -20°C durchgeführt. Zur Kompensation des fehlenden Inventars betrug die erhöhte Fallhöhen 5,55 m (Bodenfall) und 0,96 m (Mantellinienfall).
- In beiden Fallversuchen hatten die Fundamente die volle nach den Endlagerbedingungen geforderten Festigkeiten. Sie blieben unbeschädigt. In beiden Fallversuchen trafen die Behälter praktisch ideal plan auf. Mit den vorgenannten Bedingungen ergaben sich die maximal möglichen Beanspruchungen für die Behälter. Diese Beanspruchungen waren mehrfach so hoch wie bei den Fallversuchen in FORM II. Der Gusscontainer versagte, ausgehend vom Kerb in der Bodenmitte. Der zylindrische Gussbehälter blieb intakt. Die höchsten Beanspruchungen traten hierbei an einer anderen als der vorausgerechneten Stelle auf.
- Beide Behälter wurden für Nachuntersuchungen zerlegt und beprobt. Die Untersuchung der 4 intakt gebliebenen Kerben in den Hohlkehlen des Gusscontainers FORM II ergab tiefe Rissinitiierung und anschließenden Rissstopp an 1 Kerb. Vorschädigungen aus dem vorangegangenen Fallversuch wurden nicht entdeckt. Die Werte für Festigkeiten und Gefüge im Stück sind gleich gut bis etwas besser als an den bei der Fertigung entnommenen Hohlbohrproben.
- Wie die Nachuntersuchung des Gussbehälters FORM III zeigten, gab es keine Risse. An der Position des Kerbs (Schacht des Gussbehälters) sind Festigkeit und Gefüge im Stück gleich gut bis etwas schlechter als an den Hohlbohrproben.
- Die Untersuchungen zur Verbesserung von Dehnfähigkeit und Bruchzähigkeit des Gusseisens mittels ferritisierendem Glühen wurden wieder aufgenommen. Die Ergebnisse von früheren Versuchen in 2004 waren nicht ausreichend erfolversprechend gewesen und deshalb abgebrochen worden. Ein neuer Versuch mit abgeänderter Technik zeigte jetzt bzgl. der Dehnfähigkeit so gute Ergebnisse, dass weitere Orientierungsversuche hierzu schon wieder aufgenommen wurden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss der Nachuntersuchungen von Gussbehälter FORM III und Gusscontainer FORM II mit Bestimmung der Werkstoffkennwerte im Stück. Besonderes Augenmerk wird auf ferritisierend gegläute Parallelproben gelegt, an denen der volle Prüfumfang gefahren wird, d.h. einschl. Bestimmung der Bruchzähigkeit.
- Korrelation der Materialeigenschaften und der Höhe der Spannungen an den Kerben zum Verhalten in allen Fallversuchen in 2001 und 2005 mit den Hohlprofilen, dem Gussbehälter FORM III und dem Gusscontainer FORM II.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 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 30.04.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 387.698,73 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

- Vorbereitung, Durchführung und Auswertung eines Fallversuchs mit einem Gussbehälter Typ FORM III, der mit einem Kerb (Kerbgrundradius  $< 0,1$  mm) in der Wandmitte innen definiert vorgeschädigt war. Als Fallfundament diente das in diesem Vorhaben entwickelte Betonfundament mit einer 30 cm dicken, stahlbewehrten Betonplatte auf dem Prüfstandfundament der BAM, das die Anforderungen aus den Endlagerungsbedingungen für die Schachtanlage Konrad erfüllt. Dazu wurde der 5,1 Mg schwere Behälter auf  $-20^{\circ}\text{C}$  gekühlt. Die Fallhöhe von 0,96 m folgte aus den Anforderungen an die Abfallbehälterklasse I (ABK I) für die Schachtanlage Konrad unter Berücksichtigung eines Ausgleichs für die im Versuch fehlende Beladung des Behälters. In externen Nachuntersuchungen wurde ermittelt, ob es am Kerb zu einer Rissinitiierung kam. Der Spannungsintensitätsfaktor wurde rechnerisch bestimmt. Der dynamische Spannungsintensitätsfaktor war kleiner als die dynamische Bruchzähigkeit des Werkstoffs und es wurde folglich auch keine Rissinitiierung gefunden.
- Vorbereitung, Durchführung und Auswertung eines Fallversuchs mit einem Gusscontainer Typ FORM II, der mit vier Kerben in den Hohlkehlen (jeweils zwei in Seitenwand- und Bodenhohlkehlenmitte) und einem Kerb in Bodenmitte innen definiert vorgeschädigt war. Während die Kerben in den Hohlkehlen nach den von der BAM entwickelten bruchmechanischen Bewertungsmethoden ausgelegt waren, wurde der Kerb (Kerbgrundradius  $< 0,1$  mm mit einer Tiefe von  $1/10$  der Bodendicke) in Bodenmitte von den FORM III-Projektnehmern nach den für den hier zu betrachtenden spröderen Werkstoff zu konservativen Vorgaben für die zerstörungsfreie Prüfung für Gussbehälter aus duktilem Gusseisen ausgewählt. Die Fehlertiefenauswahl basierte zudem auf einer niedrigeren Beanspruchung als sie bei dem von der BAM jetzt verwendeten härteren Fundamentzustand auftritt. Als Fallfundament diente wiederum ein wie oben definiertes Betonfundament. Für den Versuch wurde der 15,8 Mg schwere Behälter auf  $-20^{\circ}\text{C}$  gekühlt. Die Fallhöhe folgte aus den Anforderungen an die Abfallbehälterklasse II (ABK II) für die Schachtanlage Konrad und betrug hier 5,55 m. In externen Nachuntersuchungen wurde ermittelt, ob es an den Kerben zu einer Rissinitiierung kam. Der Spannungsintensitätsfaktor wurde rechnerisch bestimmt. Der Auftreffwinkel war  $< 0,1^{\circ}$  und damit vernachlässigbar klein. Die Betonplatte zeigte eine deutliche Einprägung durch den Behälterboden. Am Kerb im Boden kam es zur Rissinitiierung. Hinsichtlich der zerstörungsfreien Prüfung von Bauteilen aus gering duktilem Gusseisen sind die prüftechnischen Vorgaben an die bruchmechanischen Eigenschaften des Werkstoffs anzupassen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss der Auswertung der Fallversuche mit dem Gussbehälter FORM III und dem Gusscontainer FORM II
- Schlussfolgerungen aus den Fallversuchen für die bruchmechanischen Eigenschaften des Werkstoffs und die zerstörungsfreie Prüfung von gering duktilem Gusseisen
- Erstellen des Abschlussberichtes

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Völzke, H., Zencker, U., Bandt, G.: Qualification and design testing of packages for transport, interim storage and disposal of low and intermediate level waste in Germany, Proc. Symp. Waste Management 2005 (WM '05, Tucson, February 27 - March 3, 2005), Session #75, Paper #WM-5400, CD-ROM: WM Symposia Inc., Tucson, 2005.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 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 28.02.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.691.437,00 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. Im verlängerten Arbeitszeitraum sollen die verfahrensspezifischen Einsatzgrenzen durch Erhöhung der Leistungsgrenzen und der Eröffnung neuer Arbeitsbereiche speziell auch unter Wasser erweitert werden.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

#### 1. Laserstrahlschneiden

- Erweiterung der Leistungsfähigkeit des handgeführten Laserstrahlschneidens
- Entwicklung eines flexiblen Modul-Baukasten-Systems, Entwicklung neuartiger Laserschneiddüsen für das Modulsystem
- Qualifizierung der Düsen für Schneidprozesse an CrNi-Stahl und für den handgeführten Betrieb bei Blechdicken >30 mm

#### 2. Wasserabrasivstrahlschneiden

- Wasserabrasivinjektor- /suspensionsstrahlschneiden an Atmosphäre und unter Wasser
- Leistungssteigerung der beiden Wasserabrasivstrahlverfahren und Untersuchung zur Strahlstabilität und Strahlreichweite

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

- Entwicklung und Aufbau einer CAMG-Schneideinrichtung zur Zerlegung metallischer Reaktorkomponenten
- Entwicklung neuer CAMG-Werkzeugelektroden, -Geometrien und -Beschichtungen, Untersuchungen des Werkzeugelektrodenverschleißes
- Entwicklung eines CAMG-Handgerätes für den Atmosphäreneinsatz

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### Laserstrahlschneiden

Der Regelalgorithmus zum Schneiden größerer Blechdicken wurde verfeinert.

Die Spiegeloptiken wurden durch eine Beschichtung mit einer dielektrischen Schicht weiterentwickelt.

Für die Untersuchungen zur Unterwasserbearbeitung mittels Laserstrahl wurde eine Druckkammer des UWTH ins LZH transportiert. Die Schneiduntersuchungen wurden an Blechstärken bis 25 mm durchgeführt.

Zur fernhantierten Schnitffugenauffindung wurde eine CMOS-Kamera eingesetzt.

Erste Zeichnungen weiterer Parallelstrahldüsen verschiedener Gurgeldurchmesser sind unter Einbeziehung fertigungstechnischen Gesichtspunkten erstellt worden.

#### Wasserabrasivstrahlschneiden

Durch weitergehende Untersuchungen wurde der Einfluss der hydraulischen Leistung auf die Strahlstabilität beim Wasserabrasivstrahlschneiden ermittelt. Dabei wurde insbesondere der Einfluss des Umgebungsmediums Luft/Wasser und einer variablen Hohlraumstruktur auf die Schneidleistung ermittelt.

Die vorhandene WAS-Anlagentechnik wurde mit einem Dosiersystem für den Einsatz von Polymeradditiven erweitert. Unter Berücksichtigung einer flexiblen Handhabung und einer exakten Dosierung der Polymeradditive wurde ein Proportionaldosierer zur Zumischung einer hochkonzentrierten Polymerlösung mit nachgeschaltetem Quellbehälter integriert.

Der Einfluss der Polymeradditive auf die Strahlstabilität und Strahlstruktur ist in ersten Versuchen untersucht worden. Das strukturviskose Verhalten der Wasser-Polymerlösungen wurde mit einem Rotationsviskosimeter erfasst.

#### Contact-Arc-Metal-Grinding

Es wurden Untersuchungen durchgeführt, um festzustellen in wieweit sich geregelte Schweißstromquellen für den Einsatz bei dem CAMG-Prozess eignen, und welche Schneidleistungen mit diesen zu realisieren sind. Hierbei konnte festgestellt werden, dass dies mit Schweißstrombegrenzungen von 700 - 1000 A bei Spannungen von 38 – 60V möglich ist und sich die Strombegrenzung stabilisierend auf den Prozess und verschleißreduzierend auswirkt.

Die Abhängigkeit des Elektrodenverschleiß von den Parametern Schnitttiefe, Drehzahl, Vorschubgeschwindigkeit und Polarität wurden in umfangreichen Untersuchungen ermittelt. Bei geeigneter Parameterwahl kann so der Verschleiß der Elektrode auf unter 1 Volumenprozent reduziert werden.

Es wurden Schneidversuche an Aluminium durchgeführt. Hierbei konnte festgestellt werden, dass sich Aluminium mit dem CAMG-Verfahren gut schneiden lässt und im Vergleich zu Stahl erheblich höhere Schnittleistungen möglich sind.

Für die Untersuchung des CAMG-Prozesses an Atmosphäre wurden ein Stromübertragungsmodul für handelsübliche Winkelschleifer konstruiert und in die Fertigung gegeben. Darüber hinaus wurde ein Versuchsprogramm zum Schneiden an Atmosphäre entwickelt und vorbereitet.

## **4. Geplante Weiterarbeiten**

#### Laserstrahlschneiden

Handgerät-Elektronik fertig verdrahten, Schnittstelle des LHG zum Laser fertig stellen, Fertigung weiterer Parallelstrahldüsen verschiedener Gurgel-Durchmesser, Höhenverstellereinrichtung der Düse entwickeln und ins Handgerät integrieren, schlierenoptische Untersuchungen und Kennfeldaufnahme der Düsen, Schneiduntersuchungen an dicken Blechen mittels der neu entwickelter Düsentechnik, evt. Optimierung der Parallelstrahldüsen.

#### Wasserabrasivstrahlschneiden

Erweiterung der Dosiereinrichtung mit einer zweiten Membranvordruckpumpe zum Erreichen großer Volumenströme mit Polymeradditiven beim Wasserabrasivstrahlschneiden, weiterführende Untersuchungen zum Einfluss von Polymeradditiven auf die Strahlstabilität und Strahlreichweite insbesondere beim Schneiden von Hohlstrukturen für die WAS-Verfahren, Entwicklung geeigneter Schneidstrategien zum Trennen von komplexen Strukturen.

#### CAMG

Test und Adaption des Stromübertragungsmodul für Hand-Winkelschleifer

Untersuchungen zum CAMG-Prozess an Atmosphäre, Untersuchungen zum handgeführten CAMG-Prozess an Atmosphäre, Messung der Reaktionskräfte beim CAMG-Prozess an Atmosphäre, Untersuchungen unterschiedlicher Kühlmöglichkeiten beim CAMG-Prozess an Atmosphäre.

## **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Louis, H.; Peter, D.; Pude, F.; Versemann, R.: Flexible and mobile abrasive waterjet cutting system for dismantling applications. Proceedings of the 2005 WJTA American Waterjet Conference, Houston, USA, 21.-23. August 2005

Präsentation des neuen Laserhandgerätes LHG3000sk-df und Posterpräsentation vom 13. bis 16. Juni 2005 auf der Messe „Laser 2005“ in München.

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8112</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Abdichtung von Wegsamkeiten in Salzformationen mit kristallisierenden Evaporitmineralen (AISKRYSTALL)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2002 bis 31.12.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<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 bildet 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 Fest Materialeigenschaften (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
- Aufstellung eines Katalogs von Qualitätssicherungsmaßnahmen
- Modellhafte Auslegung einer Permeationsbarriere



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

Als Grundlage für die abschließende modellhafte Auslegung einer Permeationsbarriere wurde das entwickelte Stoffmodell anhand von Vergleichsberechnungen verifiziert und die Materialparameter an das im Versuch ermittelte Verhalten angepasst.

Zur Beschreibung des Spannungs-Verformungsverhaltens einer ausgewählten Baustoffrezeptur wurden Relaxations- und hydrostatische Kriechversuche durchgeführt. Die Versuche zeigten, dass ein volumetrisches bzw. Kompaktionskriechen auftritt und der plastische größer als der elastische Verformungsanteil ist. Geringere Belastungsraten führten zu größeren Volumenverformungen und Kompressionsmoduli. Die Versuchsergebnisse dienen zur Anpassung des Stoffgesetzes HWIPP, das bei der Spannungs-Verformungsanalyse der Permeationsbarriere zum Einsatz kommt.

Ergänzende Auswertungen der rheologischen Untersuchungen im Rohrviskosimeter ergaben, dass die untersuchten Rezepturen über Tage produziert und zum Verfüllen von Hohlräumen mit konventionellen Förderanlagen nach unter Tage transportiert werden können. Des Weiteren wurde festgestellt, dass während des Rohrleitungstransportes ein Nachmischeffekt auftritt, der zu einem Anstieg der Festmaterialeigenschaften führt. So ergaben beispielsweise Prüfungen von Probekörpern der Förderversuche einaxiale Druckfestigkeiten von ca. 35 MPa, während direkt nach dem Anmischen hergestellte Probekörper nach vergleichbaren Erhärtungszeiten Druckfestigkeiten von etwa 20 MPa aufwiesen. Grundsätzlich konnte bei Rezepturen mit Kieserit auch nach Erhärtungszeiten von über 1 Jahr noch ein Anstieg der Festmaterialeigenschaften nachgewiesen werden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Erstellung des Abschlussberichtes.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 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 31.03.2006	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<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

- Fortführung der Untersuchungen zum Abdampf- und Kondensationsverhalten der Radionuklide Cs-137, Co-60 und Sr-85 im Temperaturbereich bis 2500°C unter Kurzzeitbedingungen (Minutenbereich). Aufstellen der Aktivitätsbilanzen nach Laserbearbeitung: Nuklide im Beton, Nuklide in der erstarrten Betonschmelze, abgedampfte Nuklide in Abhängigkeit der Betonoberflächentemperatur/Laserleistung und der Laser-Einwirkzeit. Vorläufige Ergebnisse (müssen noch statistisch bestätigt werden): Sr-85 und Co-60 können radiologisch nicht im Abgasstrom nachgewiesen werden, die gesamte Aktivität lässt sich in der Betonschmelze nachweisen. Cs-137 dampft in geringem Maße ab. Dieser Anteil lässt sich jedoch auf Grund der im Laserstrahl erfolgten elektrischen Aufladung durch ein elektrisches Feld in unmittelbarer Nähe zum Freisetzungsort selektiv in einer Kältefalle abscheiden.
- Weiterentwicklung und Erprobung der selektiven Nuklidabscheidung im elektrischen Feld (Patentanmeldung). Besondere Aspekte: Strömungsführung im Bereich des Schmelzeaustrages, erforderliche elektrische Feldstärken zur sicheren Ablenkung der Radionuklide (Cs-137), bei möglichst geringer Ablagerung des nicht radioaktiven Austrages (inaktive Staubpartikel).
- Fortführung der Arbeiten zur Optimierung des Schmelzeabtrages, insbesondere unter dem Aspekt der Auslaugfestigkeit der verglasten Abprodukte. Ergebnis: Erstellen einer verbesserten Parameter-Matrix zur optimalen Laserstrahlführung (Leistung, Vorschubgeschwindigkeit, Pulsfrequenz des Ausblasstromes, ...) in Abhängigkeit von der Betonsorte (Silicatanteil).
- Bestätigung, dass ein Diodenlaser unter Berücksichtigung aller Einflussgrößen (Flexibilität, Preis-Leistungs-Verhältnis, Laserwellenlänge) optimal für die Dekontamination von Betonoberflächen geeignet ist.
- Fortführung der Erprobung der Glasmatrixbildner zur Verbesserung der Verglasungseigenschaften von silicatarmen Betonen. Ergebnis: Glasbildner reagieren unter Lasereinwirkung gut mit der Betonmatrix und erzeugen so einen fest haftenden Glasfilm auf den abzutragenden Partikeln.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Fortführung der Arbeiten entsprechend Antrag mit folgenden Arbeitspaketen:

- AP VIII (3), (4), (5), IX (Elution) und X. Schwerpunkte: Untersuchungen mit radioaktiven Proben, Aktivitätsbilanzen.
- Erstellen des Abschlussberichtes.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Vortrag auf Tagung KONTEC 2005

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66123 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> 01.07.2005 bis 31.07.2005	
<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**

Das Projekt endete am 31.07.2005. Letzte Experimente wurden fertig gestellt und Auswertungen wurden vorgenommen. Gegenwärtig wird der Abschlussbericht angefertigt, der Ende Januar 2006 dem BMBF vorgelegt wird.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Das BMBF finanziert zu diesem Projekt ein Anschlussvorhaben über weitere 3 Jahre. Dabei sollen bisher an Zellkulturen durchgeführte Untersuchungen zum Nachweis kleinster Strahlendosen und zur Aufdeckung der biologischen Wirkungen geringer Dosen auf die *in vivo*-Situation übertragen werden. Hierdurch wird es möglich werden, die Strahlenbelastung bei diagnostischen, therapeutischen und beruflich bedingten Strahlenexpositionen direkt zu quantifizieren, und zwar in einem Dosisbereich, für den bisher keine Untersuchungen durchgeführt werden konnten. Neben diesen *in vivo*-Arbeiten sollen mit Zellkulturexperimenten wichtige Beiträge zu einem mechanistischen Verständnis der DSB Reparatur erbracht werden. Dabei liegen die Schwerpunkte zum einen auf Experimenten, welche die biologische Bedeutung unreparierter DSBs untersuchen und somit einen besseren Bezug zwischen strahleninduzierten DSBs und der Krebsentstehung herstellen können. Zum anderen sollen durch ein neuartiges, sogenanntes Lebendzellmikroskopieverfahren die molekularen Mechanismen des Reparaturvorganges aufgeklärt werden.

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

- (1) Löbrich, M. und Jeggo, P.A. (2005), Radiother. Oncol. 76, 112-118
- (2) Löbrich, M. und Kiefer, J. (2006), Int. J. Cancer 118, in press

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstr. 21, 80333 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> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<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

Unterauftrag Uni Regensburg: Es wurden weitere Versuche zur Optimierung der Gelfiltration mit DNA durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass sich die Versuche gut reproduzieren lassen. Mit größeren Elutionsvolumina haben sich bessere Trennungen ergeben. Weiterhin wurde die Kryosublimationsapparatur nach diversen Reparatur- und Änderungsarbeiten wieder in Betrieb genommen. Die Funktionsfähigkeit der Apparatur wurde durch Bestimmung der Isotopieeffekte bei der Kryosublimation eines HTO-H<sub>2</sub>O Gemisches in Abhängigkeit des Drucks bei -30°C bewiesen (AS 3).

RC München: Hier wurden die Kryosublimationsversuche mit verschiedenen Zuckermolekülen weitergeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass sowohl Maltose als auch Glucose Tritium anreichern. Es werden Anreicherungsfaktoren zwischen 2,1 und 2,7 erreicht. Allerdings hat die Wiederholung der Versuche ergeben, dass die Anreicherungsfaktoren nur näherungsweise reproduziert werden können. Die Gruppe von Dr. Beyer vom Lehrstuhl für Physikalische Chemie der TU München hat Modellrechnungen für Glucose durchgeführt, um den Einfluss von Parametern wie Nullpunkts- und Schwingungsenergie auf eine bevorzugte Tritiumsubstitution in Vergleich zu Wasserstoff zu erhalten. Die bisherigen Ergebnisse haben gezeigt, dass eine Substitution von Wasserstoff gegen Tritium zu geringem Energiegewinn führt (AS 4). Die Umbauarbeiten an der Elektrolyseapparatur sowie der zugehörigen Datenerfassungs- und Kontrolleinheit wurden planmäßig abgeschlossen. Erste Versuche zeigen, dass der derzeit erreichbare Anreicherungsfaktor bei einem eingesetzten Anfangsvolumen von etwa zwei Litern Elektrolytlösung, sehr gut reproduzierbar, zwischen 6 und 7 liegt (abhängig vom Volumenreduktionsfaktor der Elektrolyseeinheit) (AS 5).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Regensburger Gruppe wird kleinere Anpassungen und Veränderungen an die Geometrie des neuen Kältethermostaten ihres Kryosublimationssystems durchführen. Die nächsten Gelfiltrationsversuche von äquilibrierter DNS-Standardlösungen sollen mit einer größeren Säule durchgeführt werden um einen besseren Trenneffekt zu erreichen.

In Garching wird weiterhin an der Reproduzierbarkeit der erhaltenen Anreicherungsfaktoren für ausgewählte organische und anorganische Verbindungen gearbeitet. Für diese Verbindungen wird der Massenanteil der zu untersuchenden Substanz erhöht und dessen Einfluss auf den Anreicherungsfaktor untersucht. Weiterhin soll die Oberflächenbeschaffenheit der Kryosublimationsapparatur verändert werden, um einen Austausch von Tritium an der Glasoberfläche der Apparatur auszuschließen.

Neben einer Optimierung der derzeit Verwendung findenden Elektrolyseapparatur („Vorstufe“) hinsichtlich maximalen Anreicherungsfaktors, bei gleichzeitig minimal nötiger Energie und möglichst geringem Zeitbedarf für den Elektrolyseprozess, wird bereits am Aufbau einer weiterführenden Anreicherungsstufe gearbeitet. Hierbei handelt es sich um eine so genannte Batch-Elektrolysezelle. Von maßgeblichem Einfluss auf den Trenn- und Anreicherungsfaktor dieser Elektrolyseeinheit sind die unterschiedlichen Permeationsgeschwindigkeiten der Wasserstoffisotope durch Metallmembranen. Als Membranmaterial kommen, auf Grund ihrer Affinität zu Wasserstoff, Titan und Eisen zum Einsatz.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Temp- lergraben 55, 52062 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> 01.07.2005 bis 31.07.2005	
<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 inklusive 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

**Freimessverfahren.** Mit der Direktmessung mit Kontaminationsmonitoren, der In-situ- $\gamma$ -Spektrometrie, der In-situ-Röntgenfluoreszenzspektrometrie ist die Freigabe von Gebäudestrukturen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen messtechnisch ausreichend abgedeckt. Die Gesamt- $\gamma$ -Freimessanlagen haben sich als qualifizierte Messsysteme für die Freigabe großer Materialchargen gut etabliert. Durch den Einsatz von Germanium-Detektoren mit hoher Nachweiseffizienz stellt das  $\gamma$ -Scanning als nuklidspezifisches Messverfahren heutzutage eine echte Alternative zu Gesamt- $\gamma$ -Messsystemen für die Freigabemessung radioaktiver Reststoffe dar. Um die Qualität der Messergebnisse zu sichern wird eine systematische Überprüfung der Richtigkeit der verwendeten Kalibrierungsbedingungen durch Simulationsrechnungen nachdrücklich empfohlen. Insbesondere fehlt es an standardisierter, benutzerfreundlicher bzw. übersichtlicher Kalibrierungs- und Auswertesoftware für eine optimale Routineeinsatz der Freimessverfahren.

**Zerstörungsfreie Messverfahren zur Charakterisierung radioaktiver Abfälle.** Während der letzten zehn Jahre wurden im Rahmen von EU-Forschungsvorhaben zerstörungsfreie  $\gamma$ -Messverfahren wie z. B. das transmissionskorrigierte segmentierte  $\gamma$ -Scanning mit Swivel-Scan oder Winkel-Scan entwickelt und getestet, die im Vergleich zu dem eingesetzten konventionellen segmentierten Gamma-Scanning zu einer deutlichen Verbesserung in Analyse und Qualitätssicherung von radioaktiven Abfallgebänden führen. Leider wurde bis heute keines dieser Verfahren im Routinebetrieb eingesetzt. Daher sind Weiterentwicklung (z. B. effizientere Transmissionsquelle), die Optimierung und die Anwendung dieser Verfahren für die routinemäßige Charakterisierung radioaktiver Abfälle zu empfehlen. Insbesondere fehlt es an der Hard- und Softwareumsetzung der Verfahren für den qualifizierten



bzw. gesicherten Routineeinsatz. Die bei RCM/TUM und ISR/FZJ realisierte Auswertesoftware SWGamma (02S8081, 8091) zur Verbesserung der Analyse der Rohdaten soll durch Messungen an Referenzgebinden qualifiziert werden. Die Methode der Schwächungskorrektur der Gammastrahlung mittels Kleinwinkelstreuung, die am ISR/FZJ zur Ermittlung von räumlich konzentrierten Aktivitätsverteilungen entwickelt wurde, soll in einer benutzerfreundlichen Auswertungssoftware umgesetzt werden. Zur Bestimmung des Gesamtgehalts an Spontansplintern in radioaktiven Abfallgebinden soll die passive integrale Neutronenmessung als begleitendes Prüfverfahren des  $\gamma$ -Scannings routinemäßig eingesetzt werden. Spaltbare Stoffe können nicht in radioaktiven Abfallgebinden nachgewiesen werden, da derzeit kein zerstörungsfreies Prüfverfahren in Deutschland für diesen Zweck vorhanden ist. Zur Qualitätssicherung bzw. Überprüfung der eingesetzten bzw. entwickelten zerstörungsfreien Messverfahren fehlt es insbesondere an zertifizierten Referenzgebinden. Es besteht derzeit keinen Bedarf an Neuen- bzw. Weiterentwicklung der Gasanalytik.

**Zerstörende analytische Methoden zur Charakterisierung radioaktiver Abfallproben.** Die Entwicklung einer Simulationssoftware, die an Hand von A-priori-Information und Messdaten die Zahl und Menge der Proben für eine optimale und möglichst repräsentative Probenahme ermittelt, wäre hilfreich, um den Fehler bei der Probenahme zu quantifizieren. Gegenüber den klassischen Aufschlussverfahren ist das temperaturprogrammierte Mikrowellenaufschlussverfahren zu empfehlen. Die eingesetzten Trennverfahren (Destillation, oxidative Trennung mit Gas-Einfang, Fällungsreaktion, Flüssig-Flüssig Extraktion, Festphasenextraktion) für die Isolierung der relevanten deklarationspflichtigen Radionuklide sollen weiteroptimiert und wenn möglich automatisiert werden, um den offenen Umgang mit radioaktiven Proben auf ein Minimum zu beschränken und damit die Dosisleistung für das Personal möglichst klein zu halten. Trennverfahren für den Nachweis von weiteren deklarationspflichtigen Radionukliden wie Be-10, Ca-41, Ca-45, V-49, Se-79, Rb-87, Zr-93, Zr-95, Nb-93m, Nb-94, Nb-95, Mo-93, Ru-103, Ru-106, Pd-107, Cd-109, Cd-113m, Sn-126, Pm-147, Sm-151 sollen weiter bzw. neu entwickelt werden. Die bei der verschiedenen Institutionen verwendeten radioanalytischen Messverfahren wie Gesamt- $\alpha$ -/ $\beta$ -Messung, Gesamt- $\gamma$ -Messung,  $\gamma$ -Spektrometrie, Röntgen-Spektrometrie, Flüssigszintillation-Spektrometrie (LSC), und  $\gamma$ -Spektrometrie sind mit den entsprechenden Methoden zur Zählprobenherstellung gut etabliert. Rechnerische Methoden sollen für die Effizienzkalibrierung der radioanalytischen Messverfahren eingesetzt werden. Für die Identifikation von  $\beta$ -Nukliden und die routinemäßige Analyse von komplex überlagerten  $\beta$ -Spektren bei LSC-Messungen sollte die am HS-ÜM/FZK und am ISR/FZJ entwickelte Entfaltungsprozedur in eine benutzerfreundliche Software umgesetzt werden. Die LSC mit Alpha/Beta-Diskriminierung, die eine gute Alternative zu der  $\alpha$ -Spektrometrie für den Nachweis von Alphastrahlern nach chemischer Isolierung darstellt, soll weiter entwickelt werden. Aufgrund kurzer Messzeiten bzw. Analysezeiten und hoher Probendurchsätze soll die ICP-MS in der routinemäßigen Bestimmung langlebiger  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahler stärker als LSC und  $\alpha$ -Spektrometrie eingesetzt werden. Die Laser-Ablation-Massenspektrometrie (LA-ICP-MS) ist ein leistungsfähiges zerstörungsfreies Messverfahren, das im Rahmen der Voruntersuchung zur Freigabe von Gebäudestrukturen stillgelegter kerntechnischer Anlagen für den direkten Nachweis langlebiger Radionuklide und der Untersuchung deren Verteilung in der Fläche und Tiefe in Materialproben eingesetzt werden kann. Neben den derzeit durchgeführten Maßnahmen zur Qualitätssicherung fehlt es zur Überprüfung der eingesetzten analytischen Methoden insbesondere an zertifizierten Referenzmaterialien aus z. B. Beton, Stahl, Kunststoff und Zellulose. Für die Standardisierung und Harmonisierung der derzeit eingesetzten analytischen Methoden auf nationaler Ebenen und für die Bewertung des Standes von Wissenschaft und Technik für eine nachhaltige Weiterentwicklung und eine Modernisierung der analytischen Verfahren wäre die Gründung von Expertengruppen wünschenswert.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Revision des Abschlussberichtes.

#### 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 30.09.2005	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 30.09.2005	
<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 in die AP's des Instituts für Energietechnik ein.

### **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

- Vervollständigen des Parameterfeldes.
- Die abgetragenen Flächen wurden mit Hilfe der Lasertriangulation vermessen.
- Patentanmeldung des am LIM entwickelten Verfahrens.
- Die Arbeiten zur Literatur- und Patentrecherche sind aktualisiert und abgeschlossen.
- Präsentation der erzielten Ergebnisse auf der KONTEC 2005 und Veröffentlichung im Lasermagazin.

#### *Ergebnisse:*

Nach dem Vervollständigen des Parameterfeldes sind alle bisher erzeugten Abtragsflächen unter zu Hilfenahme der Lasertriangulationsmethode vermessen worden. Somit konnten Abtragstiefe, Abtragsvolumen und das Abtragsprofil bestimmt werden. Die derzeit mögliche Abtragsrate für gemischten Beton liegt bei einer Tiefe von 4,7 mm bei 682 cm<sup>3</sup>/h und für quarzitisches Beton bei einer Tiefe von 3,5 mm bei 508 cm<sup>3</sup>/h.

Die am LIM entwickelte Verfahren zum getakteten Abtrag der schmelzflüssigen Phase wurde zum Patent angemeldet.

Die Arbeiten zur Literatur- und Patentrecherche wurde aktualisiert und abgeschlossen.

Die erzielten Ergebnisse konnten erstmals auf der KONTEC 2005 präsentiert und im Lasermagazin Nr. 3, 2005, veröffentlicht werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Dokumentation und Anfertigen des Abschlussberichtes.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Exner, H.; Treptau, S.; Geißler, S.: Laserstrahliefenabtrag von Betonoberflächen mittels Hochleistungsdiodenlaser. Ein Beitrag zum Kooperationsprojekt „*Dekontamination silicatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abproduktkonditionierung*“, Tagungsband KONTEC 2005, 20.-22.04.2004, Berlin, S. 600-608

Treptau, S.; Geißler, S.; Exner, H.: Removal of concrete surfaces. Lasermagazin, No. 3, 2005, Magazin Verlag, S. 35

<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> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<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: Die erweiterte Genehmigung für den Umgang mit Kernbrennstoffen wurde RCM im Dezember 2005 erteilt und wird genutzt. Die vom weiter verarbeitenden Betrieb des konditionierten Kernbrennstoffs im Februar 2005 beantragte Zustimmung steht noch aus. Eine positive gutachterliche Stellungnahme dazu liegt bereits vor.

AP2: Die Veraschungsparameter für die SUR-Brennelement-Platten sind über Simulationsversuche mit  $Al_2O_3$ /Lupolen ausgearbeitet worden.

- AP3: Der mögliche  $U_3O_8$ -Ausstrag bei der thermischen Behandlung wurde über den Einsatz von  $Al_2O_3$ -Pulver inaktiv erprobt. Die Ofenkammer-Einrichtung (Pyrolysekammer) wurde so weit optimiert, dass kein  $Al_2O_3$ -Ausstrag mehr gravimetrisch festzustellen war. Zur Reduzierung des Rußaustrags wurde in die Verbrennungsabluft-Leitung der Thermischen Behandlungsanlage (TBA) ein zusätzlicher Rußfilter installiert. Die Pyrolysekammer wurde mit einem Nachverbrenner versehen, der die Rußbildung in der TBA zusätzlich herabsenkt.
- AP4: Die Verträge hinsichtlich des Inhaberwechsels des Kernbrennstoffs zwischen den ehemaligen SUR-Betreibern TU München, TU Darmstadt, HS Bremen und HAW Hamburg und dem übernehmenden EVU (RWE) wurden ebenso wie die Verträge zur Konditionierung der SUR-Kerne der genannten ehemaligen SUR-Betreiber mit RCM Ende November von den Vertragspartnern unterzeichnet. Im Dezember wurden weiterhin der Vertrag zwischen RCM und dem weiter verarbeitenden Betrieb sowie ein Rahmenvertrag über Transportleistungen zwischen RCM und NCS unterzeichnet.
- AP5: Für alle 4 bisher in Hanau in der Staatlichen Verwahrung gelagerten SUR-Kerne sind die erforderlichen Verträge abgeschlossen. Nachdem durch RCM die Annahmefähigkeit erklärt wurde, wurde der Transport der ersten beiden SUR-Kerne sowie des Blendmaterials zu RCM nach Garching veranlasst und am 15.12.2005 durchgeführt.

#### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP1: Mit der Erteilung und Nutzung der erweiterten RCM-Umgangsgenehmigung sind Korrekturen an der Sicherheitstechnischen Beschreibung (STB) und der Betriebstechnischen Anweisung (BTA) verbunden. Diese werden dem TÜV innerhalb der nächsten 6 Monate vorgelegt. Die momentan noch ausstehende Zustimmung für die Weiterverarbeitung des konditionierten Kernbrennstoffs wird kurzfristig erwartet.
- AP2: Die ausgearbeiteten Veraschungsparameter werden nach der Rußfilter- und Nachverbrenner-Inbetriebnahme überprüft und auf das SUR-Brennelementplatten-Material übertragen.
- AP3: Die bisher inaktiv durchgeführten Versuchsreihen werden mit dem Material der angelieferten SUR-Kerne wiederholt und die Veraschungsparameter angepasst. Zur C-Gehaltsbestimmung des sich bei der thermischen Behandlung des SUR-Brennelementplatten-Materials bildenden  $U_3O_8$ -Glührückstands wird ein Analysensystem aufgestellt und in Betrieb genommen. Mit der Konditionierung der angelieferten SUR-Kerne wird begonnen.
- AP4: Ein Vertragsentwurf, der die Übernahme des konditionierten Kernbrennstoffs durch den weiter verarbeitenden Betrieb regelt, liegt vor. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Vertrag noch im Januar 2006 von den Beteiligten unterzeichnet wird. Die Verträge zwischen den weiteren (ehemaligen) SUR-Betreibern und dem Abnehmer des konditionierten Kernbrennstoffs RWE bzw. dem Konditionierer RCM sind vorbereitet und sollten etwa bis Jahresmitte 2006 abgeschlossen sein.
- AP5: Der Abtransport der 2 restlichen, inzwischen verlagerten SUR-Kerne aus der Staatlichen Verwahrung zu RCM wird vorbereitet. Der Zeitplan für diesen Transport richtet sich nach den Fortschritten bei der Durchführung der Konditionierung. In der Folgezeit werden alle notwendigen Maßnahmen ergriffen, um den Kernbrennstoff aller weiteren am Projekt beteiligten Betreiber konditionieren und weiter verarbeiten zu können.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 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> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<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 mikrobiologisches Monitoring wurde vorbereitet und die ersten Analysen ergaben eine gute Ausbeute an Genen, die erfolgreich für ein weiterreichendes, funktionelles Screening eingesetzt werden können. Dazu wurde neben einem CHIP für ein high-throughput-screening auch 2D-Gelelektrophorese eingesetzt und die identifizierten Gene werden jetzt in ihrer schwermetallabhängigen Expression untersucht. Die Ergebnisse werden auf Pilze übertragen.

Im ersten Jahr der Lysimeteruntersuchungen wurden Starterkulturen bestimmter Bakterien eingesetzt. Diese haben noch nicht die optimalen, bisher in Gefäßversuchen erzielten Ergebnisse erbracht, weshalb die nächste Freilandsaison mit neuen Starterkulturen aus der zweiten Runde des Screenings dringend notwendig ist. Die Überlebens- und Konkurrenzfähigkeit der Bakterien im Schutt/Rohkompost-Gemisch wurde untersucht und die Mykorrhizierungsrate erhoben sowie der Einfluss auf den Transfer von Radioisotopen und Schwermetallen (z.B. Strontium) in die Pflanze untersucht. Es wird nunmehr nötig, die Lysimeterversuche mit den gewonnenen Erkenntnissen in einer zweiten Vegetationsperiode neu zu bestücken und die Versuche auf ihre Machbarkeit im größeren Maßstab unter naturnahen Bedingungen zu überprüfen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Wie geplant werden Gefäßversuche und Lysimeteruntersuchungen weiter geführt und das Monitoring auf funktionelle Gene ausgedehnt:

- 2005/12-2006/2: Überwinterung und Belastbarkeit der Gefäßversuche durch Witterung, Untersuchung der Notwendigkeit einer Neuinokulation mikrobieller Populationen. Vorbereitung der Lysimeter mit unterschiedlicher Bepflanzung/Inokulation und Beregnung. Falls notwendig, neue Substratzusammensetzung und neue Inokulation der Gefäße, neues Wasserregime.
- 2006/3-6: neue Lysimeterversuche und Monitoringwerkzeuge. Abschlussbericht.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Schmidt A, Haferburg G, Sineriz M, Schmidt A, Merten D, Büchel G, Kothe E, 2005. Heavy metal resistance mechanisms in actinobacteria for survival in AMD contaminated soils. Chem. Erde 65S1, 131-144.
- Ebenå G, Kothe E, 2005. Bioleaching and microbial mineral degradation. Microbes for Biotechnol. Appl. (Varma A, Ed.) Springer, Heidelberg, in press.
- Büchel G, Bergmann H, Ebenå G, Kothe E (2005) Geomicrobiology in remediation of mine waste. Chem. Erde 65S1, 1-5.
- Kothe E, Bergmann H, Büchel (2005) Molecular mechanisms in bio-geo-interactions. Chem. Erde 65S1, 7-27.
- Juranek F (2005) Einfluss der Bodentiefe auf die mikrobielle Aktivität und Diversität im Bereich einer Haldenaufstandsfläche. Magisterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität, Jena
- Krause K (2005) Wirtsspezifität und spezifische Genexpression in Mykorrhiza-Pilzen der Gattung *Tricholoma*. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität, Jena

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Gesellschaft für Schwerionenforschung mit beschränkter Haftung, Planckstraße 1, 64291 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> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.357.473,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Kraft	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Abschätzung der relativen biologischen Wirksamkeit (RBW) von dicht ionisierender Strahlung für die Induktion genetischer Veränderungen im Menschen zu verbessern. Hierzu werden neue Forschungsansätze entwickelt und in *in vitro* Experimenten überprüft. Die *in vitro* erhaltenen Daten sollen dann mit Werten aus Patientenbestrahlungen (konventionelle Therapie und Kohlenstoffionentherapie) verglichen werden.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Nachwuchsförderung in der Strahlenforschung. Zum Beispiel erhalten im Rahmen des Projektes Diplomanden und Doktoranden eine wissenschaftliche Ausbildung und in Vorlesungen und Praktika wird um potenziellen wissenschaftlichen Nachwuchs geworben.

### 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:** Vergleich der genotoxischen Wirkung von Kohlenstoffionenstrahlen und Röntgenstrahlen *in vivo* und *in vitro* (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:** Die Untersuchung von Chromosomenschäden in Lymphozyten eines gesunden Spenders nach Bestrahlung mit 100 MeV/u Kohlenstoffionen wurde abgeschlossen. Die Analyse von Zellen in der ersten Mitose nach Bestrahlung ergab einen RBW=2. Die Art der erzeugten Aberrationen unterschied sich dabei nicht von den durch Röntgenstrahlen hervorgerufenen Schäden. Weiterhin erfolgte für alle Datensätze (LET Bereich: 2-3000 keV/μm), die bisher für Lymphozyten erhoben wurden, eine detaillierte statistische Analyse der Verteilung der Aberrationen pro Zelle. Aus diesen Daten ist eine Publikation in Vorbereitung.

Die Langzeituntersuchungen an Fibroblasten nach Röntgen- und Kohlenstoffionenbestrahlung wurden weitergeführt und ergänzt. Sie bestätigen unsere frühere Beobachtung, dass Regulationsproteine, die im Zellzyklus und/oder bei der zellulären Seneszenz eine Rolle spielen, sowohl an der frühen als auch an der späten Strahlenreaktion beteiligt sind. Die frühe Strahlenreaktion ist von der Dosis und dem LET abhängig, während die späte Reaktion nicht dieser Systematik folgt. Parallel zu den Veränderungen in der Proteinexpression wurden in den Nachkommen der bestrahlten Zellen Unterschiede in der Anzahl und der Art von Chromosomenschäden gefunden.

**AP 2:** Die Analyse von Chromosomenschäden in B-Lymphozyten zweier gesunder Spender, die *in vitro* mit 100 MeV/u Kohlenstoffionen und 250 kV Röntgenstrahlen bestrahlt worden waren, wurde abgeschlossen. Ein Vergleich dieser Daten mit Werten, die in unserer Arbeitsgruppe für T-Lymphozyten gemessen wurden, legt den Schluss nahe, dass auf chromosomaler Ebene die Strahlenempfindlichkeit von B- und T-Zellen gleich ist. Da dieses Ergebnis im Widerspruch zu bisher publizierten Daten steht, soll es in einem weiteren Experiment verifiziert werden.



**AP 3:** Lymphozyten von 2 gesunden Spendern wurden mit Röntgenstrahlen (1-4 Gy) oder 100 MeV/u Kohlenstoffionen (0.25-2 Gy) bestrahlt und bis zu 56 Tagen kultiviert. Die Analyse zeigte, dass in allen bestrahlten Kulturen chromosomale Instabilität auftrat. Die Höhe der Aberrationsrate war dabei vom Spender abhängig. Die höhere Wirksamkeit von Kohlenstoffionen konnte auch in diesem Zellsystem beobachtet werden.

**AP 4:** Es wurde mit der real-time PCR Methode untersucht, inwieweit in menschlichen peripheren mononukleären Zellen Telomeraseaktivität durch Strahlung induziert werden kann. Die Analyse der Proben von 4 gesunden Spendern zeigte, dass die Telomeraseaktivität durch mitogene Stimulierung der Zellen mit PHA deutlich ansteigt. Nach Röntgenbestrahlung (2-10 Gy) wurde eine weitere, dosisabhängige Erhöhung gefunden. In unstimulierten mononukleären Zellen, die eine niedrige Basalaktivität aufweisen als stimulierte Zellen, war dieser strahleninduzierte Anstieg sogar stärker ausgeprägt. Dies ist unerwartet, da bisher angenommen wurde, dass eine gewisse Grundmenge des Enzyms Voraussetzung für eine strahleninduzierte Erhöhung der Telomeraseaktivität ist.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

**AP 1:** Um die Datensätze zu vervollständigen werden im Frühjahr 2006 Lymphozyten eines gesunden Spenders mit 10 MeV/u Kohlenstoffionen bestrahlt. Bis zu 100 Stunden nach der Exposition sollen Chromosomenpräparate (Metaphase und Interphase) hergestellt und Proben zur Apoptosemessung gesammelt werden. Zur Detektion der Chromosomenschäden wird sowohl die konventionelle Giemsa-Färbung als auch die Vielfarben-Fluoreszenz-in situ-Hybridisierung (m-FISH) eingesetzt.

Die Untersuchungen der Expression von Zellzyklusproteinen, der Zelldifferenzierung und der Chromosomenaberrationen in Langzeitkulturen von Fibroblasten nach Röntgen- und Kohlenstoffionenbestrahlung werden weitergeführt und ergänzt. Den Schwerpunkt bildet die Analyse von Chromosomenschäden. Pro Zeitpunkt sollen mindestens 25-50 Metaphasen mit der m-FISH Methode untersucht werden.

**AP 2:** Die für B-Lymphozyten erhaltenen Chromosomendaten sollen in einem weiteren Experiment verifiziert werden. Da die vorherigen Versuche gezeigt haben, dass B-Zellen 2 bis 5 Tage nach Bestrahlung und Stimulierung in die erste Mitose eintreten, sollen in dem neuen Experiment Metaphasen zu verschiedenen Zeitpunkten untersucht werden.

**AP 3:** Im Frühjahr 2006 werden die ersten Prostatakarzinompatienten mit einer kombinierten Therapie aus Kohlenstoffionen-Boost und IMRT behandelt. Blutproben dieser Patienten werden entnommen und die Anzahl der Chromosomenschäden bestimmt. Darüber hinaus sollen die *in vitro* Untersuchungen zur strahleninduzierten genomischen Instabilität fortgesetzt werden. Es ist geplant, die für einen der Spender erhaltenen Daten zu verifizieren.

**AP 4:** Die Messungen der Telomeraseaktivität in unstimulierten Lymphozyten werden fortgesetzt. Die Abhängigkeit der strahleninduzierten Telomeraseaktivität von der Dosis und der Strahlenqualität soll genauer untersucht werden. Darüber hinaus ist geplant, die Telomeraseaktivität auch in Lymphozyten von Prostatakarzinompatienten zu messen, die eine Strahlentherapie erhalten. Dabei soll insbesondere die Kinetik des Enzyms in Abhängigkeit von der kumulierten Dosis untersucht werden.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Becker, D.: Untersuchungen zum strahleninduzierten Bystander-Effekt in normalen humanen Fibroblasten. Diplomarbeit, FH Darmstadt, Fachbereich Chemie-Biotechnologie (2005).
- Conrad, S. et al.: Radiosensitivity of RAW 264.7 cells and primary monocytes. GSI Report 2005-1, p287 (2005).
- Fournier, C. et al.: Advanced studies on the bystander response after exposure of human fibroblasts to low fluences and targeted irradiation with heavy ions. GSI Report 2005-1, P288 (2005).
- Gudowska-Nowak, E. et al.: Correlation between aberration burdens and their impact on the interpretation of chromosome data. GSI Report 2005-1, p280 (2005).
- Herskind, C. et al.: Telomerase activity of peripheral blood lymphocytes from radiotherapy patients. GSI Report 2005-1, P281 (2005).
- Hofman-Hüther, H. et al.: Chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes from patients with primary prostate cancer before therapy. GSI Report 2005-1, p279 (2005).
- Lee, R. et al.: Cytogenetic studies for radiation risk assessment of space radiation. GSI Report 2005-1, p278 (2005).
- Milanovic, D. et al.: Changes in telomerase activity after irradiation of human peripheral blood lymphocytes *in vitro*. Radiat. Prot. Dosimetry (eingereicht).
- Winter, M. et al.: Cell cycle delay and premature differentiation in human fibroblasts after irradiation with high-LET carbon ions and X-rays. GSI Report 2005-1, p289 (2005).

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universitätsklinikum Düsseldorf, Moorenstraße 5, 40225 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> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 737.782,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Haas	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Schwerpunkt des Vorhabens ist die Aufklärung der molekularen Mechanismen, die der Schädigung/Zerstörung menschlicher normaler und maligner blutbildender Zellen durch Alpha-Strahlung zugrunde liegen. 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.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1** Untersuchung der Wirkungen der Alpha-Strahlung auf normale hämatopoetische Zellen (myeloisch und lymphatisch) mittels Microarrays.
- AP 2** Untersuchung der Wirkungen der Alpha-Strahlung auf maligne hämatopoetische Zellen (myeloisch und lymphatisch) mittels Microarrays.
- AP 3** Untersuchung der Assoziation der RNA-Expressionsdaten aus AP1 und AP2 mit Proteinexpressionsdaten.
- AP 4** Untersuchung der Proliferationsfähigkeit und der Apoptose-Rate nach Alpha-Bestrahlung in normalen und malignen hämatopoetischen Zellen.  
Bestätigung von Kandidatengenens mittels quantitativer real-time RT-PCR.
- AP 5** Untersuchung des Einflusses radioprotektiver Substanzen auf das Genexpressionsmuster nach Alpha-Strahlung.
- AP 6** Untersuchung von transkriptionellen Änderungen in CD34+ Zellen bei Patienten mit Non-Hodgkin-Lymphom nach Alpha-Radioimmuntherapie.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

**AP 1:** Insgesamt wurden 33 Proben normaler CD19+ B-Zellen (immunmagnetisch angereichert aus „buffy coat“-Präparationen) mit 100µCi und 200 µCi <sup>213</sup>Bi-CD20 inkubiert und Genexpressionsprofile mit Microarrays erstellt und die bioinformatische Auswertung gemacht. Die biologische Interpretation erfolgt derzeit.

**AP 2:** Die Auswertung der differentiell exprimierten Gene in alpha-bestrahlten K422 Zellen nach Bi-213-CD20 Exposition wird derzeit fortgesetzt. Die Gene wurden in funktionelle Gruppen aufgeteilt, und die Interpretation der biologischen Bedeutung der Veränderungen erfolgt derzeit.

**AP 3:** Da K422 p53 negativ ist, wurde eine Positiv-Kontrolle mit CD19+ Zellen durch Zytostatika generiert. Nach Zugabe von Zytostatika zeigte sich eine Hochregulation von p53, nach alpha-Bestrahlung war das nicht der Fall. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die alpha-induzierte Zytotoxizität nicht p53-abhängig ist. Der RB1-Western-Blot wurde etabliert und soll an bestrahlten Zellen angewendet werden. Die Expression folgender Membran-assoziiierter Proteine wurde durchflusszytometrisch untersucht: Immunglobulinrezeptor CD79b, Integrin-assoziiertes Protein CD47, transmembranes Sialomuzin CD164, MHC-like Glykoprotein CD1c. Der Vergleich der Expressionsdichte in unbestrahlten und alpha-bestrahlten Zellen bestätigte die Microarray-Daten.

**AP 4:** Es wurden weiterhin die durch Alpha-Strahlung induzierten Methylierungsveränderungen untersucht. Methylierungs-spezifische PCR des MAGE1-Promotors, ein Markergen für Methylierung, zeigte keine Methylierungsveränderung nach Bestrahlung. Zur Untersuchung genomweiter Methylierungsveränderungen durch <sup>213</sup>Bi wurde ein „Cytosin Extension Assay“ etabliert. Dieser wird derzeit auf bestrahlte Proben angewendet. Die „in situ nick translation“ war technisch an den bestrahlten Zellen nicht durchführbar. Die Proliferationsfähigkeit der K422 Lymphom-Zellen nach Bestrahlung wurde mittels Ki-67-Nachweis untersucht. Die Verdoppelung der Ki-67-Expressionsintensität nach 24 Stunden im Vergleich zu 46 min wies auf einen Zeit-abhängigen Einfluss hin. Es fanden sich keine Hinweise für eine Apoptose-Induktion nach alpha-Bestrahlung, da die Caspase-3-Konzentration von Dosis und Dauer der Bestrahlung unbeeinflusst blieb. Alpha-bestrahlte Zellen verloren ihre Klonogenität, wie durch Kolonien-bildende Assays nachgewiesen wurde.

**AP 6:** Die klinische Studie musste wegen nicht tolerierbarer Nebenwirkungen abgebrochen werden.

#### **4. Geplante Weiterarbeiten**

**AP 1:** Die Expressionsanalysen von bestrahlten normalen CD19+ B-Zellen werden biologisch ausgewertet und mit den Daten aus den Zell-Linien verglichen.

**AP 2:** Die Expressionsanalysen von bestrahlten K422-Zellen werden weiter ausgewertet und die funktionelle Bedeutung untersucht.

**AP 3:** Mit Western-Blot und Immunzytometrie soll die Expressionsänderung des Zellzyklus-regulierenden Gens RB1 in bestrahlten CD19+ Zellen gemessen werden.

**AP 4:** Nach Bestrahlung sollen DNA-Schäden mittels Immunfluoreszenz für Kolokalisation von H2AX-Foci und RAD51 untersucht werden. Globale Methylierungsveränderungen sollen weiter untersucht werden.

**AP 5:** Radioprotektive Substanzen werden eingesetzt.

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

Raschke S., Martin S., Kliszewski S., Apostolidis C., Morgenstern A., Weis M., Neumann F., Haas R., Kronenwett R.:

Induction of a distinct transcriptional response in B-cell lymphomas by the  $\alpha$ -emitting radio-immunoconjugate <sup>213</sup>Bi-rituximab. *Onkologie* 2005;28(suppl 3), 93 (abstr.)

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Kaiserstraße 12, 76131 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> 01.01.2005 bis 30.06.2005	
<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 Doppelstrangbrüche angeschaltet werden und zur Inhibierung des Mdm2 Proteins (und damit zur Zunahme des p53 Proteins) führen.

Bezug zu förderpolitischen Zielen: Das Vorhaben dient dem Kompetenzerhalt und der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Wissenschaftl. und/oder technische Ziele: Aufklärung der Signaltransduktionskette nach ionisierender Strahlung (IR), 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. IR inaktiviert GSK-3 und verhindert so die GSK-3 abhängige Phosphorylierung von Mdm2. 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 p53-Zielgene werden aktiviert. Dadurch wird der Zellzyklus arretiert und die Zelle kann die DNA Schäden vor der nächsten Zellteilung reparieren oder Zelltod auslösen.

## 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:** Die Beteiligung von „Akt“ an der Phosphorylierung von GSK-3 nach IR (ionisierender Strahlung) wurde weiter untersucht. Von Akt gibt es in der Zelle zwei Formen: Akt1 und Akt2. Akt2 konnte durch siRNA erfolgreich herunter reguliert werden. Da nach Zugabe von siRNA gegen Akt2 noch immer eine Phosphorylierung von GSK-3 zu sehen ist, ist eine Beteiligung von Akt2 auszuschließen.

Es gibt jedoch erste Hinweise, dass die Phosphorylierung von GSK-3 über Akt1 erfolgen könnte. Beide Akt-Formen können durch die Kinase DNA-PK phosphoryliert werden. DNA-PK wird besonders in Gegenwart von Doppelstrangbrüchen aktiviert. In Zellen ohne funktionelle DNA-PK liegt keine GSK-3 Phosphorylierung vor, so dass damit zu rechnen ist, dass DNA-PK an der Signaltransduktion, die nach IR zur Phosphorylierung von GSK-3 führt, beteiligt ist.

**zu B:** Die Sumoylierung von CKI $\delta$  unter Beteiligung verschiedener Assays wurde detailliert untersucht. Zwar sind die Arbeiten noch nicht abgeschlossen, jedoch ist eine IR-induzierte Veränderung der CKI $\delta$  -Sumoylierung eher unwahrscheinlich.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

**zu A:** Die Möglichkeit der Phosphorylierung von GSK-3 durch Akt1 wird weiter verfolgt. Hierzu werden weitere siRNA-Experimente durchgeführt. Auch werden wir DNA-PK durch siRNA herunter regulieren. Mit diesem Experiment wird die Beteiligung von DNA-PK an der Phosphorylierung von GSK-3 verifiziert und untersucht, ob eine Reduktion von DNA-PK mit der Mengenzugabe von p53 nach IR interferiert.

**zu B:** Die Analysen zur Sumoylierung von CKI $\delta$  werden abgeschlossen und es wird untersucht, ob sich die Assoziation von CKI $\delta$  mit zytoplasmatischen Ankerproteinen oder Kernporenproteinen nach IR verändert.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 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 30.04.2006		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 457.456,00 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

Zusätzliche APs durch Auftragsweiterung:

AP1Z: Erstellen einer Empfehlung für die zentrale Zwischenlagerung in Deutschland

AP2Z: Erarbeiten von Vorschläge für konkrete Schritte zur Rückführung der Dounray-Abfälle

AP3Z: Vorbereiten von möglichen Vertragsverhandlungen mit UKAEA

AP4Z: Abklären möglicher internationaler Kooperationen

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

Die Bearbeitung der Arbeitspakete 1 bis 7 wurde vollständig abgeschlossen und die Ergebnisse in einem Abschlussbericht zusammengestellt und den beteiligten Forschungseinrichtungen sowie dem Auftraggeber und Gutachtern präsentiert.

Es wurde u.a. festgestellt, dass nach Planungen von UKAEA die konditionierten Abfälle (ca. 200 Fässer) ab Mitte 2007 zur Rückführung nach Deutschland in Dounreay bereitstehen werden. Das Konditionierungsverfahren (Zementierung der flüssigen WA-Abfälle in 560-Liter-Fässern mit NIREX-Spezifikation) wurde vom TÜV NORD EnSys Hannover geprüft. Bei den Dounreay-Gebinden handelt es sich nach Feststellung des BfS um mittelradioaktive Abfälle, die gemäß Atomgesetz als sonstige radioaktive Abfälle gelten.

Die Zwischenlagerung aller Dounreay-Gebinde bis zur vorgesehenen Endlagerung in der Schachanlage Konrad kann zur Zeit in keinem deutschen Zwischenlager ohne Änderung bestehender Genehmigungen oder baulicher Einrichtungen erfolgen. Für den Transport der Gebinde ist ein Versandstück mit Typ B(U)-Zulassung erforderlich. Für die Endlagerung wird eine störfallfeste Verpackung der Abfallbehälterklasse II benötigt. Derzeit gibt es keinen geeigneten Transport- und Lagerbehälter für diese Gebinde. Die Beförderung zum Festland muss in jedem Fall per Schiff erfolgen. Danach ist ein Straßen- und/oder Schienentransport möglich.

Die Aufwandsabschätzung für die gesamte Rückführung hat gezeigt, dass es sowohl technisch, genehmigungsrechtlich und wirtschaftlich sinnvoll ist, die Gebinde direkt von Dounreay ins Endlager zu transportieren.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im Rahmen der Bearbeitung der zusätzlichen Arbeitspakete werden Empfehlung für die zentrale Zwischenlagerung der ca. 200 Dounreay-Gebinde in Deutschland sowie Vorschläge für konkrete Schritte zur Rückführung der Dounray-Abfälle erarbeitet. Darüber hinaus sollen rechtliche Fragen im Vorfeld von möglichen Vertragsverhandlungen mit UKAEA und Möglichkeiten der Kooperation mit betroffenen europäischen und internationalen Unternehmen abgeklärt werden.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universitätsklinikum Essen – Universität Duisburg-Essen, Hufelandstraße 55, 45147 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> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<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.

\*) GAMA: G2-arrest modulating activity

## 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 Produktion von großen Media-Mengen die GAMA beinhalten, war ein Schwerpunkt während der letzten sechs Monate. Verschiedene Verfahren wurden ausprobiert, um die Effektivität dieser Produktion zu verbessern. Dies ist deswegen besonders wichtig, weil später größere Mengen von Media notwendig sein werden um die Reinigung- und Charakterisierungsverfahren zügig voranzutreiben. Eingehende Untersuchungen haben gezeigt, dass Zellen, die zu einer konfluenten Phase des Wachstums gelangt sind, sich sehr gut dafür eignen, durch wiederholte Zugabe von Nährmedien, Nährmedium mit GAMA Aktivität zu gewinnen. Dieses Verfahren wird jetzt weiter untersucht um festzustellen, ob dadurch GAMA mit reproduzierbarer Aktivität gewonnen werden kann.

Ein Problem, das bei diesen Experimenten entsteht ist, dass die gewonnenen Medien zwar reich an GAMA sind aber auch gleichzeitig teilweise an Nährstoffen depletiert. Es ist wichtig durch adäquate experimentelle Planung zu gewährleisten, dass der GAMA-Effekt von durch Nährstoffdepletion verursachten Effekten deutlich getrennt wird. Diese Aspekte wurden in vorläufigen Versuchen in Angriff genommen und werden weiter in der jetzigen Finanzierungsperiode untersucht.

Die chemische Charakterisierung von GAMA ist auch in dieser Periode weiter vorangetrieben. Da bisher die Peptidnatur von GAMA nicht bestätigt werden konnte, haben wir uns dafür entschieden, andere Möglichkeiten auszuschließen. Zu diesem Zweck wurden GAMA beinhaltende Medien mit Enzymen behandelt, die RNA und DNA abbauen. Anders als bei den Proteasen, die Sequenz-Spezifität aufweisen, zeigen DNAasen und RNAasen keine Sequenz-Spezifität und können Moleküle jeder beliebigen Größe verdauen. Diese Untersuchungen haben keinen Hinweis darauf liefern können, dass GAMA DNA oder RNA ist. Diese Ergebnisse helfen uns dabei, unsere Experimente auf einer möglichen Peptidnatur von GAMA weiterhin zu fokussieren oder einzugrenzen.

Schließlich haben wir während der letzten Finanzierungsperiode Vorarbeiten daraufhin geleistet, um die Signalkaskade, die zum G2-Block führt, molekular zu charakterisieren. Als ersten Schritt in dieser Richtung, haben wir Cdc25C über Western Blot detektiert. Es wird vermutet, dass GAMA über einer Inhibierung der Cdc25C Aktivität einhergeht.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Für die nächste Finanzierungsperiode werden wir weiterhin zweigleisig fahren. Zum einen werden wir unsere Untersuchungen zu chemischen Charakterisierungen von GAMA weiterführen, zum anderen werden wir die Signalkaskade, die zum G2-Block führen, molekular analysieren um die Hauptspieler für den GAMA-Effekt zu identifizieren.

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

Keine

<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 31.07.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<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 Wiederauffinden der Zellen

**AP3:** Weiterentwicklung der Zellkammer für Lebendzellbeobachtung

**AP4:** Praxistest durch Lebendzellbeobachtung nach gezielter Bestrahlung sub-nukleärer Strukturen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

**AP1:** Voraussetzung für die direkte Bestimmung der Treffergenauigkeit durch Zielen auf fluoreszenzmarkierte Chromatindomänen ist der Einbau eines Fluoreszenzmikroskopes in den Strahlplatz. Dieser Einbau mit den nötigen Anpassungen (Mikroskop muss 90° gekippt werden) wird gegenwärtig durchgeführt. Für die Generierung möglicher Zielstrukturen wurden Vorexperimente mit der Zelllinien U2OS Cenß-GFP (von AG Cremer zur Verfügung gestellt) begonnen.

**AP3:** Für Lebendzellbeobachtungen kann die gegenwärtige Versuchsanordnung (Strahlaustrittsfolie - Mylarfolie mit Zellbewuchs - Luft - Mylarabdeckung der Zellkammer - Ionendetektor) nicht genutzt werden, da wegen der nötigen Bedeckung der Zellen mit Medium die Ionen den Detektor nicht mehr erreichen. Es wurde daher ein neuer Zellbehälter konstruiert, bei dem die Zellen auf einem Lithium-dotierten Deckglas wachsen sollen, das gleichzeitig als Detektor dient. Der Zellbehälter verfügt über ein ausreichend großes Mediumreservoir, dass Lebendzellbeobachtung über mehrere Stunden ohne Perfusion (Nahrungszufuhr) möglich sein sollte. Gegenwärtig ist ein Prototyp dieser Kammer verfügbar, der in Hinblick auf Zellwachstum und Überleben getestet wird.

**AP4:** Die Untersuchung von verschiedenen Reparatur- und Signalproteine auf ihre Fähigkeit zur Focusbildung nach Ionen-Mikrobestrahlung hin wurde weitergeführt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

**AP1:** Die Anpassung des Mikroskops soll weitergeführt werden. Sobald dieses einsatzfähig ist, soll die Treffergenauigkeit beim individuellen Zielen bestimmt werden.

**AP3:** Nach Vorversuchen mit der neuen Zellkammer in Hinblick auf Zellüberleben und Maßanfertigung der benötigten Lithium-dotierten Deckgläser soll die Zellkammer am Strahlplatz getestet werden. Insbesondere ist zu testen, wie gut diese Deckgläser als Ionendetektoren geeignet sind.

**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

Dollinger, G., Bergmaier, A., Hauptner, A., Dietzel, S., Drexler, G.A., Greubel, C., Hable, V., Reichart, P., Krücken, R., Cremer, T., Friedl, A.A. Hydrogen microscopy and analysis of DNA repair using focused high energy ion beams. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (in press)

Hauptner, A., Krücken, R., Greubel, C., Hable, V., Dollinger, G., Drexler, G.A., Deutsch, M., Löwe, R., Friedl, A.A., Dietzel, S., Strickfaden, H., Cremer, T. DNA repair protein distribution along the tracks of energetic ions. Radiat. Prot. Dosim. (in press)

Hable, V., Dollinger, G., Greubel, C., Hauptner, A., Krücken, R., Dietzel, S., Cremer, T., Drexler, G.A., Friedl, A.A., Löwe, R. Methods for quantitative evaluation of dynamics of repair proteins within irradiated cells. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (in press)

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 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> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<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 Unfalleinwirkungen 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

- Erstellung behälterspezifischer Versuchsablaufpläne für zwei weitere Testbehälter, Vermessung und Dokumentation der Eigenschaften der Prüfmuster, Aufstellung von Messstellenplänen
- Applikation von Dehnungs- und Beschleunigungssensoren an 80 Messpunkten sowie die Verlegung der Messkabel am Behälter

- Durchführung von Behälterfallversuchen mit unterschiedlichen Fallorientierungen bei Umgebungstemperatur
- Erfassung umfangreicher dynamischer Dehnungs- und Beschleunigungs-Zeitverläufe
- Dichtheitsprüfung aller Dichtsystembestandteile vor und nach den Fallversuchen
- Schadensdokumentation der Fallprüfungen und Messung entstandener plastischer Verformungen sowie Foto- und Videodokumentation
- Beauftragung zur Errichtung eines Fallprüfstandes für geführte Fallprüfungen mit Objektmassen bis 1000 kg
- Beschaffung eines optischen Weg- und Geschwindigkeitsmesssystems zur messtechnischen Erfassung von Deformationen und Wegänderungen von dynamisch beanspruchten Behälterkomponenten und -bauteilen
- Untersuchungen zur Kinematik des Testbehälteraufpralls in Abhängigkeit von Fallposition, Behälterdesign und Modellgröße
- Vorbereitung eines „cooperative agreement“ zwischen BAM und U.S. Nuclear Regulatory Commission über den Austausch der Ergebnisse von Forschungsvorhaben zur Unfallsicherheit von Brennelement-Transportbehältern
- Durchführung zweidimensionaler FEM (Finite-Elemente Methode) Rechnungen für Parameterstudien (Verwendung verschiedener FE-Programme, Materialgesetze und Kontaktdefinitionen, Collision Tests)

#### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Vorbereitung und Durchführung weiterer Fallversuche mit Transport- und Lagerbehältern für radioaktives Material in Originalgröße unter Variation der Prüfbedingungen, wie Fallhöhe und Fallorientierung
- Weiterführende Auswertung von Messergebnissen aus durchgeführten Fallprüfungen
- Ableitung von Empfehlungen für weiterentwickelte Berechnungsmodelle
- Vergleich der Untersuchungsmethoden für Behälter in Modell- und Originalgröße sowie Übertragbarkeitsbetrachtungen hinsichtlich der Fallversuchsergebnisse und des Beanspruchungsverhaltens
- Vergleichende Bewertung der experimentell ermittelten Dehnungs- und Beschleunigungsdatensätze mit den berechneten Behälterbeanspruchungen
- Durchführung von dreidimensionalen FEM (Finite-Elemente-Methode) Rechnungen für Parameterstudien zu orthotropen Materialgesetzen und dreidimensionalen Kontaktdefinitionen
- Erstellung eines vollständigen FE-Behältermodells zur Berechnung von Beanspruchungen
- Kopplung der FEM-Rechnungen mit bereits erarbeiteten analytischen Berechnungsverfahren
- Inbetriebnahme des Fallprüfstandes zur Durchführung geführter Fallprüfungen an Komponenten von Transport- und Lagerbehältern im Modell- und Originalmaßstab
- Kooperation mit U.S. NRC auf dem Gebiet der Sicherheitsbeurteilung von BE-Transport- und Lagerbehältern (Fallversuche mit Behältern in Originalgröße und Modellmaßstab sowie FE-Analysemethoden)

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

- K. Müller, Th. Quercetti, B. Droste, Measurement Techniques and Preliminary Results of Drop Tests with Full-Scale Spent Fuel Transport and Storage Casks, 7th International Conference on Radioactive Materials Transport 2005, September 27-29, 2005, Cambridge, UK
- B. Droste, K. Müller, Th. Quercetti, Full-scale Drop Testing of Spent Fuel Transport and Storage Casks: Experiences of BAM and New Developments. In: 46th Annual Meeting of the Institute for Nuclear Materials Management, July 10-14, 2005, Phoenix, AZ, USA (Proceedings / CD-ROM) (2005)

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 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> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<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**

- Die Aufnahme von Stromdichte-Potenzial-Kurven an unlegierten Stahlproben unter Variation des Elektrolyten (z.B. Salz-, Schwefel-, Essigsäure, neutrale Salzlösungen, basische Medien wie Natronlauge) wurde fortgeführt, ebenso die elektrochemischen Korrosionsuntersuchungen an unbelasteten Kupferproben in verschiedenen Medien.
- Metallografische Analyse des Probenmaterials.
- Aufbau und Inbetriebnahme Ein Korrosionsversuchsstand für Auslagerungsversuche von Modellwerkstoffen in Modellumgebungen wurde aufgebaut und in Betrieb genommen. Modellwerkstoffe in Modellumgebungen wurden im Korrosionsversuchsstand ausgelagert.
- Konstruktion eines Modellbehälters für die Durchführung von Korrosionsuntersuchungen hinsichtlich einer Schadensreproduktion.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Fortführung der Auslagerungsversuche von Modell-Werkstoffen in verschiedenen Modellumgebungen.
- Realisierung des Modellbehälters für Korrosionsversuche.
- Korrosions-/Auslagerungsversuche mit dem Modellbehälter unter Verwendung verschiedener Modell-Umgebungen.
- Material-Analyse an drei von der GNS zur Verfügung gestellten Fässern: 2 Stück 400 l Fass (Nr. KHZ 259 und KHZ 272) sowie 1 Stück 200 l Fass (Nr. VL 021383/1).
- Korrosionsversuche mit Probenmaterial, das aus den von der GNS zur Verfügung gestellten Fässern entnommen wird.
- Ermittlung mechanischer Kennwerte im Zugversuch (DIN EN 10002) an unbelasteten sowie an korrodierten Proben.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 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> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<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 am Standort Gessenwiese ermittelten Ergebnisse der Labor- und Geländeuntersuchungen zu überprüfen, werden die Resultate auf einen neuen Anwendungsfall übertragen.

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

Eine dynamische Batchtestanlage wurde zu einem Säulenstand mit vier Säulenplätzen mit vor- bzw. nachgeschalteter Medien-Filtration und der Möglichkeit der Parametererfassung (Temperatur, pH, Leitfähigkeit, Redoxpotential) wahlweise vor bzw. nach Säulendurchgang modifiziert. Die Testphase verlief erfolgreich, so dass die Säulenversuche Anfang 02/2006 beginnen können. Parallel wurden die ersten Batchversuche vorbereitet.

Die Versuche der Kleinlysimeteranlage (s. Bericht I/05) wurden eine Vegetationsperiode lang durchgeführt. Bodenmaterial und Sickerwässer wurden geo- bzw. hydrochemisch analysiert, das Pflanzenmaterial wurde auf Stressindikatoren untersucht. Die Aufschlussverfahren der Biomasse für die Analyse der SEE- und Urangelhalte werden zurzeit durchgeführt.

Für die geologische und hydrochemische Untersuchung der An- und Abstrombereiche des Testfeldes wurden in der Peripherie des Feldes fünf weitere Flachbohrungen abgeteuft und als Grundwassermessstellen ausgebaut. Stichtagsbeprobungen der Grundwässer, sowie Sammelproben der Sickerwässer aus den Saugkerzenanlagen wurden regelmäßig gewonnen. Neben den standardmäßig durchgeführten Analysen zu Hauptelementen, SEE, Uran und anderen Schwermetallen wurden an einer Probenkampagne zusätzlich Analysen der stabilen Isotope  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{34}\text{S}$  durchgeführt (am UFZ Halle).

In acht Messstellen des Testfeldes wurden Drucksonden mit Datenloggern installiert, um zeitlich hoch aufgelöste Aufzeichnungen der Pegelstände zu erhalten. Diese dienen der Untersuchung von Reaktionszeiten und Schwankungsamplituden infolge von Niederschlagsereignissen.

Das Untersuchungsprogramm der Bodenproben der Schürfe auf dem Testfeld (s. Bericht I/05) wurde weiter geführt. Die Bereiche Korngrößenanalysen, CNS-Analysen und Sequenzielle Extraktion wurden abgeschlossen.

Die Biomasse der Plots vom Testfeld wurde geerntet. Neben der Bestimmung der Trockenbiomasse wurde der Mykorrhizierungsgrad ermittelt. Ausgewählte Pflanzenproben werden aufbereitet, chemisch aufgeschlossen und auf SEE- und Urangelhalte untersucht.

Die Containeranlage in Rossendorf ist funktionstüchtig. Die Versuche werden in der kommenden Vegetationsperiode durchgeführt.

Die Lysimeterversuche an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft München werden in der kommenden Vegetationsperiode durchgeführt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Laborexperimente (Säulenversuche, Batchversuche, Gefäßversuche) werden in vollem Umfang begonnen bzw. weitergeführt. Nach der Auswertung der Biomasseuntersuchung wird die Strategie für die mikrobielle Behandlung und Bepflanzung der Plots auf dem Testfeld für die kommende Vegetationsperiode festgelegt. Die Gewinnung von Probenmaterial wird systematisch fortgesetzt.

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

Abstracts eingereicht für Tagung der Fachsektion Hydrogeologie (FH DGG) in Cottbus.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 S 8305</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Abbruch massiver Betonbauwerke der Energietechnik		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2007	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 295.177,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Müller	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Forschungsvorhaben hat zum Ziel, den Abbruchprozess dickwandiger Betonbauteile aus hochwertigem Beton zu analysieren und darauf aufbauend geeignete Verfahren zu empfehlen, die einen wirtschaftlichen und gleichzeitig umweltschonenden Rückbau massiver Konstruktionen des Kernreaktorbaus ermöglichen. Kern des Vorhabens ist die umfassende Untersuchung und Bewertung der vorhandenen Methoden und Verfahren zum Abbruch und zur Dekontamination massiver Betonbauwerke der Energietechnik. Hierbei kommen ingenieur- und materialwissenschaftliche sowie wirtschaftswissenschaftliche Methoden zur Anwendung. Im Ergebnis der Forschungsarbeit soll ein Leitfaden entstehen, aus dem unter Berücksichtigung der jeweiligen Möglichkeiten und Randbedingungen diejenige Abbruchmethode ersichtlich wird, die den anzusetzenden Maßstäben am nächsten kommt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Forschungsprojekt ist in 3 Arbeitsschwerpunkte (AS) gegliedert:

AS I: Sichtung, Auswertung und Archivierung des nationalen und internationalen Informations- und Datenmaterials zur Thematik des Forschungsvorhabens

AS II: Entwicklung einer umfassenden Matrix zur vergleichenden Darstellung und Bewertung der identifizierten Abbruchverfahren

AS III: Erarbeitung eines Leitfadens als Entscheidungshilfe zur Auswahl geeigneter objektbezogener Abbruchverfahren oder auch Verfahrenskombinationen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AS I:

Zusammenstellung, Sichtung und Auswertung von nationalen und internationalen Literaturquellen aus Kongressbänden, Fachzeitschriften, Informationsbroschüren, Produktdatenblättern sowie von Veröffentlichungen im Internet, in Forschungsberichten und Fachbüchern zu folgenden Verfahren: Handabbruch, Einschlagen, Meißeln, Abgreifen, Abbrechen, Abscheren, Sägen, Kernbohren, Schleifen und Fräsen, konventionelles Sprengen, Sprengen mit Expansivstoffen, Lichtbogen-schmelzschneiden, Plasmaschneiden, Druckwasserstrahlen, Abrasiv-Druckwasserstrahlen, Laserstrahlen sowie Einsatz von Mikrowellen, Wasserkanonen, Kartuschenspaltgeräten, Kernlanzen, Pulverlanzen, Pulverbrennschneidgeräten.

Im Rahmen der Recherchen konnten Informationen, Angaben und Erfahrungen zu Abbruch- und Dekontaminationstechnologien zusammengetragen werden, die bereits in laufenden oder abgeschlossenen Rückbauprojekten (Großwelzheim, Gundremmingen, Hanau, Jülich, Kahl, Karlsruhe, Karlstein und Niederaichbach sowie u. a. in den USA, Japan und der Schweiz) zum Einsatz gekommen sind. Darüber hinaus fanden in der Literaturrecherche neben gängigen, konventionellen Verfahren zum Abbruch und zur Dekontamination von massiven Bauteilen auch neuartige Verfahren Berücksichtigung, die sich zur Zeit noch im Entwicklungs- oder Erprobungsstadium befinden. Von besonderem Interesse ist dabei u.a. die Eignung dieser Verfahren und Technologien beim Abbruch massiver Bauteile der Energietechnik. In einer späteren Phase der Projektbearbeitung sollen derartige Einschätzungen aus der Literatur durch eigene Bewertungen ergänzt und ggf. auch relativiert werden. Diese vorgesehene Neubewertung der Verfahren und Technologien stützt sich auf die Ergebnisse einer geplanten Erhebung in Unternehmen und Firmen, die auf dem Gebiet des Abbruchs massiver Bauwerke der Energietechnik praktisch tätig sind (siehe dazu auch „Geplante Weiterarbeiten“).

#### AS II:

Sämtliche verwertbaren Kennwerte, Angaben, Informationen und Erfahrungen zu diesen Verfahren und Technologien werden zur Zeit im Rahmen der Literatursichtung gezielt herausgefiltert und gesammelt. Diese Rohdaten bilden die Grundlage für die Erstellung der Datenbank, in der die maßgebenden technologischen Parameter der recherchierten Abbruch- und Dekontaminationsverfahren geordnet und vergleichend zusammengestellt werden sollen. Die Datenbank befindet sich derzeit in der Aufbauphase. Hierbei wird aus Gründen der einfachen Einsetzbarkeit und allgemeinen Verfügbarkeit auf Standardsoftware (Excel) zurückgegriffen.

In Anlehnung an die Richtlinie VDI 2225 wird für den Vergleich der verschiedenen Abbruchverfahren ein Bewertungsmodell entwickelt, welches eine objektive und einheitliche, quantifizierende Bewertung ermöglicht. Das Vorgehen bei der Bewertung lehnt sich an die Methoden der Nutzwertanalyse technischer Produkte an. Die Bewertung erfolgt im direkten Vergleich der Verfahren untereinander. Eine Besonderheit für die Bewertung ergibt sich dadurch, dass neben bereits im Bereich konventioneller Energietechnik und im Nuklearbereich erprobten Verfahren auch solche bewertet werden müssen, die sich noch im Entwicklungsstadium befinden.

#### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Sowohl die Beschaffung, Sichtung und Auswertung von Fachliteratur als auch die Übertragung der technologischen Parameter aus den zusammengetragenen Literaturquellen in die Datenbank wird im 1. Hj. 2006 im Wesentlichen abgeschlossen. Der Schwerpunkt der Tätigkeiten wird im laufenden Quartal in der Erstellung der Datenbank liegen.

Zudem ist vorgesehen, die in den laufenden und bereits abgeschlossenen Rückbauprojekten von den am Abbruchprozess beteiligten Fachunternehmen gewonnenen Erfahrungen zur Verfahrensbewertung im Bewertungsmodell mit zu berücksichtigen. Diesbezüglich soll ein Befragungskonzept auf der Basis eines geeigneten Fragenkataloges entwickelt werden. Die Erstellung des Fragenkatalogs wird im 1. Hj. 2006 in Angriff genommen, um mit den Abbruchunternehmen und -firmen baldmöglichst in Kontakt treten zu können.

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

In Vorbereitung

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Str., 52428 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 S 8315</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> 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> 01.07.2005 bis 30.06.2008		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 90.502,80 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Caspary

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Gemeinschaftsvorhabens mit der TU München, das auf den Ergebnissen der Vorhaben mit den Förderkennzeichen 02S8081 und 02S8091 aufbaut, ist die Weiterentwicklung des Softwarepakets zur Reduktion des Aufwands für Kalibrierung, Auswertung und QA/QC und die damit verbundene Verbesserung von Präzision und Richtigkeit bei der Deklaration und Freimessung von Abfällen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen. Die Software erlaubt dem Anwender Informationen oder Angaben zum individuellen Messobjekt bei der Inventaranalyse quantitativ zu verwerten. So lassen sich die Unsicherheiten bzgl. der Übereinstimmung der Eigenschaften des Messobjektes und der verwendeten Kalibrierung deutlich reduzieren. Die wesentlichen Ziele der Weiterentwicklung sind die Optimierung bestehender sowie die Erarbeitung und Ergänzung weiterer Inventaranalysemethoden, die Berücksichtigung der Ortsdosisleistung und die Internationalisierung.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Geplante Arbeitsschritte sind:

- AS1: Entwicklung, Codierung, Integration und Validierung eines Moduls zur numerischen Berechnung der Ortsdosisleistung an Nuklearabfallgebinden.
- AS2: Entwicklung, Codierung, Testintegration und Test eines auf dem algebraischen Rekonstruktionsalgorithmus basierenden Moduls zur Aktivitätsbestimmung aus Oberflächenzählratenverteilungen aus dem Gamma-Scanning.
- AS3: Internationalisierung.
- AS4: Verbesserung der Ergonomie.

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

- Die genauen Arbeitspakete wurden unter den Projektpartnern festgelegt (siehe 2.).
- Die Entwicklung der Algorithmen für das Modul zur numerischen Berechnung der Ortsdosisleistung an Nuklearabfallgebinden ist abgeschlossen.
- Die numerische Berechnung basiert auf einer Monte-Carlo-Transportsimulation der Gamma-Strahlung durch das Messobjekt. Auf einer das Messobjekt umgebenden Oberfläche wird aus dem spektralen Photonenfluss durch Multiplikation mit geeigneten Konversionsfaktoren (nach ANSI oder ICRP) die Ortsdosisleistung berechnet.
- Die Schnittstellen zum Gesamtprogramm sind definiert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Codierung wird fortgesetzt. Die Integration in die Gesamtsoftware kann zum Teil parallel erfolgen.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8325</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> 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> 01.07.2005 bis 30.06.2008		<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2005 bis 31.12.2005
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 187.860,00 EUR		<b>Projektleiter:</b> Dr. Bücherl

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Gemeinschaftsvorhabens mit dem Forschungszentrum Jülich GmbH, das auf den Ergebnissen der Vorhaben mit den Förderkennzeichen 02S8081 und 02S8091 aufbaut, ist die Weiterentwicklung des Softwarepakets zur Reduktion des Aufwands für Kalibrierung, Auswertung und QA/QC und die damit verbundene Verbesserung von Präzision und Richtigkeit bei der Deklaration und Freimessung von Abfällen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen. Die Software erlaubt dem Anwender Informationen oder Angaben zum individuellen Messobjekt bei der Inventaranalyse quantitativ zu verwerten. So lassen sich die Unsicherheiten bzgl. der Übereinstimmung der Eigenschaften des Messobjektes und der verwendeten Kalibrierung deutlich reduzieren. Die wesentlichen Ziele der Weiterentwicklung sind die Optimierung bestehender sowie die Erarbeitung und Ergänzung weiterer Inventaranalysemethoden, die Berücksichtigung der Ortsdosisleistung und die Internationalisierung.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Geplante Arbeitsschritte sind:

- AS1: Entwicklung, Codierung, Integration und Validierung eines Moduls zur numerischen Berechnung der Ortsdosisleistung an Nuklearabfallgebänden.
- AS2: Entwicklung, Codierung, Testintegration und Test eines auf dem algebraischen Rekonstruktionsalgorithmus basierenden Moduls zur Aktivitätsbestimmung aus Oberflächenzählratenverteilungen aus dem Gamma-Scanning.
- AS3: Internationalisierung.
- AS4: Verbesserung der Ergonomie.

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

- Die genauen Arbeitspakete wurden unter den Projektpartnern festgelegt (siehe 2.).
- Eine erste Optimierung des Programms wurde durchgeführt. Dabei wurden auch einige Programmfehler behoben. Als wesentlicher Punkt der Optimierung ist der Anschluss der Bibliotheksfunktion zu erwähnen. Hierdurch ist es möglich, Detektoren, Objekte, Nuklid- und Materialdaten etc. aus der Bibliothek in ein (neues) Projekt zu übernehmen, ohne diese Informationen jedes Mal (zeitaufwendig) neu eingeben bzw. neu generieren zu müssen. Verbunden ist diese Übergabe mit einem Integritätstest, d.h. der Überprüfung der übergebenen Daten auf Inkonsistenz (z.B. aufgrund von unterschiedlichen Definitionen von Materialeigenschaften in Bibliothek und Projektdatei).
- Der prinzipielle Ablaufplan für die Flexibilisierung der Analyse wurde von den Projektpartnern gemeinsam erarbeitet und wird aktuell umgesetzt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Codierung wird fortgesetzt. Die Integration in die Gesamtsoftware fertig gestellter Teilschnitte kann zum Teil parallel erfolgen.

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

Keine

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66123 Saarbrücken		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8335</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> 01.10.2005 bis 30.04.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2005 bis 31.12.2005	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 496.151,00 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. Dies ist für geeignete Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor zivilisatorischer Strahlenbelastung und für eine wissenschaftlich fundierte Festlegung von Grenzwerten für den Umgang mit und die Entsorgung von radioaktivem Material essentiell. Um verlässliche Vorhersagen über das Krebsrisiko in dem für den Strahlenschutz relevanten Dosisbereich von wenigen mSv machen zu können, müssen die für hohe Strahlendosen bekannten Risiken zu niedrigen Dosen hin extrapoliert werden. Dazu bedarf es eines mechanistischen Verständnisses der nach Bestrahlung mit niedrigen Dosen ablaufenden zellulären Prozesse, die zu für die Krebsentstehung relevanten genetischen Veränderungen führen. Ziel des Vorhabens ist es, solche genetischen Veränderungen im Bereich niedriger Dosen durch Untersuchungen an bestrahlten Personen zu erfassen und in einen quantitativen Zusammenhang zur Strahlendosis zu stellen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

In Menschen sollen zu verschiedenen Zeiten nach Exposition mit niedriger Strahlendosis DNA-Doppelstrangbrüche (DSBs) mittels Immunfluoreszenznachweis erfasst und mit dem Reparaturvermögen der einzelnen Individuen korreliert werden. Diese in vivo Studien sollen durch Zellkulturexperimente ergänzt werden, welche zum Ziel haben, die biologische Auswirkung der nach niedrigen Strahlendosen auftretenden DSBs zu ergründen und so einen direkten Bezug zur Krebsentstehung herzustellen.

Das Gesamtvorhaben wird in 4 Arbeitspakete eingeteilt. Die Arbeitspakete 1 und 2 beinhalten Untersuchungen zum Nachweis von DSBs in bestrahlten Personen und sollen in Zusammenarbeit mit den Instituten der Radiologischen Klinik der Universität des Saarlandes durchgeführt werden. Diese in vivo Studien sollen es ermöglichen, eine individuelle Bewertung der Strahlenreaktion und einer sich daraus ergebenden Risikoabschätzung vorzunehmen. Die Arbeitspakete 3 und 4 stellen Experimente mit Zellen in Kultur dar. Sie tragen maßgeblich dazu bei, die biologische Auswirkung einer ausbleibenden oder eingeschränkten DSB Reparatur zu bewerten und somit einen direkteren Zusammenhang zwischen der Strahlenexposition und einer möglichen Krebsentstehung aufzustellen.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Arbeitspaket 1 soll in exponierten Personen die Strahleneinwirkung durch den Nachweis von  $\gamma$ -H2AX-Foci in Lymphozyten erfasst und für den Fall bekannter Expositionsbedingungen in einen quantitativen Zusammenhang zur physikalischen Strahlendosis gestellt werden.  $\gamma$ -H2AX-Foci sind im Fluoreszenzmikroskop punktförmig sichtbare Strukturen, die in ruhenden menschlichen Zellen Orte vorliegender DSBs darstellen. Die Ausbildung der Foci erfolgt in Zellkulturexperimenten innerhalb weniger Minuten nach Induktion eines DSBs. Trotzdem zeigten Vorexperimente, dass in Patienten das maximale Ausmaß an  $\gamma$ -H2AX-Foci erst nach etwa 30 Minuten erreicht ist (1). Da der Zeitpunkt für das Auftreten des maximalen  $\gamma$ -H2AX-Fociwertes wahrscheinlich von den Expositionsbedingungen abhängt, erfolgt bei den ersten Studien die Blutentnahme während der ersten Stunde nach Exposition in Abständen von etwa 10 Minuten.



Dabei wurden die Untersuchungen auf Patienten konzentriert, die alle eine CT-Untersuchung vom Thorax bekamen, wobei identische Bestrahlungsbedingungen gewählt wurden. In Übereinstimmung zu den früheren Arbeiten konnte gezeigt werden, dass im Gegensatz zu Zellkulturexperimenten ein Focimaximum 30 Minuten nach Bestrahlung auftritt. Dies kann damit erklärt werden, dass während der Untersuchung nur ein Teil (Thorax) des Gesamtblutes des Patienten bestrahlt wurde, wohingegen der andere Teil des Blutes unbestrahlt blieb. Durch den Blutkreislauf des Menschen vermischt sich dann das bestrahlte Blut (Lymphozyten mit  $\gamma$ -H2AX-Foci) mit dem unbestrahltem Blut (Lymphozyten ohne  $\gamma$ -H2AX-Foci). Nach etwa 30 Minuten ist die Durchmischung vollkommen abgeschlossen, und man erhält einen maximalen Fociwert. Danach kommt die DSB Reparatur jedes Patienten zum Tragen, und der  $\gamma$ -H2AX-Fociwert nimmt wieder ab. Aus diesen Ergebnissen ergibt sich, dass für zukünftige Studien der frühestmögliche Zeitpunkt zur Untersuchung der DSB-Induktion in vivo 30 Minuten nach Strahleneinwirkung ist.

Ein großer Teil des Projektes beschäftigt sich mit der Aufklärung der molekularen Mechanismen des Reparaturvorganges von DSBs. Es ist bekannt, dass nach Auftreten von DSBs in menschlichen Zellen ein Netzwerk von Signalwegen abläuft, die letztlich dazu dienen, den Reparaturvorgang zu initiieren, zu kontrollieren und mit anderen zellulären Vorgängen, wie z.B. der Replikation, zu koordinieren. Mit einem Lebendzellmikroskopieverfahren können mikroskopisch viele der an diesen Vorgängen beteiligten Faktoren sichtbar gemacht werden, wodurch ihre genaue Funktion im Netzwerk des Reparaturvorganges einer Analyse direkt zugänglich wird. Für die Lebendzellmikroskopie wird ein inverses Immunfluoreszenzmikroskop benötigt, das spezielle technische Voraussetzungen erfüllen muss, wie z.B. hoher Motorisierungsgrad, Shuttereinrichtung und Ansteuerung aller Funktionen per Software. Ein solches Mikroskop kann aufgrund der finanziellen Unterstützung des BMBF angeschafft werden. Zur Zeit laufen intensive Vorarbeiten zur Bewertung verschiedener Hardwaresysteme. Dabei werden humane Osteosarkomzellen (U-2-OS) verwendet, in denen das Protein 53BP1, das eine bedeutende Rolle in der Reparatur von DSBs spielt, mit dem Reporterprotein GFP (green fluorescent protein) gekoppelt ist. Diese Zellen wurden freundlicherweise von Jiri Bartek (Bekker-Jensen S., Lukas C., Melander F., Bartek J., Lukas J. (2005), *J. Cell Biol.* 170 (2), 201-211) zur Verfügung gestellt. Das GFP-Protein kann aufgrund eines cyclischen Tripeptids als Chromophor bei 488 nm grünes Licht emittieren, so dass durch die direkte Kopplung mit 53BP1 dieses in der Lebendzellmikroskopie sichtbar gemacht werden kann. Somit kann untersucht werden, wie hoch der Anteil von GFP gekoppelten 53BP1 in der lebenden Zelle ist und welchen Einfluss dieses Protein auf die DSB Reparatur hat.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Das individuelle Reparaturvermögen bestimmter Personen bzw. Personengruppen soll in vivo mittels der  $\gamma$ -H2AX-Immunfluoreszenzmikroskopie untersucht werden. Hierzu haben Vorexperimente gezeigt, dass das Verschwinden der  $\gamma$ -H2AX-Foci nach einer Exposition mit diagnostischen Strahlendosen mit der in vivo Reparatur der DSBs übereinstimmt und somit das individuelle Reparaturvermögen einzelner Menschen widerspiegelt (1). Wesentliche Einflussfaktoren für das individuelle Reparaturvermögen von DSBs könnten z.B. in der applizierten Strahlendosis, dem Alter der Person, aber auch der jeweiligen Vorgeschichte bzw. dem Gesundheitszustand der Person liegen. Aus diesem Grund soll das Reparaturvermögen von Tumorpatienten gegenüber Patienten ohne Krebsleiden untersucht werden. Weiterhin soll überprüft werden, ob eine Chemotherapie Auswirkungen auf das Reparaturvermögen von DSBs hat.

Mit dem in vivo Nachweis von  $\gamma$ -H2AX-Foci sind wir in der Lage, eine biologische Dosisbestimmung individuell für jeden CT-Patienten vorzunehmen. Allerdings ist die Dosisbestimmung problematisch, wenn für die Untersuchungen Röntgenkontrastmittel verabreicht werden. Diese führen zu einer Erhöhung der Ordnungszahl der Moleküle im durchstrahlten Volumen und damit zu einer verstärkten Deponierung von Strahlung. Untersuchungen an isolierten Zellen weisen darauf hin, dass dieser Effekt biologisch durchaus von Bedeutung sein kann. So konnte in vitro bei hohen Strahlendosen ein verstärktes Auftreten von Chromosomenschäden nachgewiesen werden, wenn isolierte Zellen mit iodhaltigen Röntgenkontrastmitteln inkubiert wurden. Allerdings lassen diese Experimente nicht zwischen einem zytotoxischen Effekt der Kontrastmittel und einem Strahlenschaden unterscheiden. Daher soll in Experimenten an kultivierten Zellen und an frisch isolierten Lymphozyten aus dem peripheren Blut untersucht werden, in welchem Maße die Anzahl strahleninduzierter DSBs unter Exposition mit iodierten Röntgenkontrastmitteln ansteigt.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Löbrich, M., Rief, N., Kühne, M., Heckmann, M., Fleckenstein, J., Rube, C. und Uder, M. (2005), *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102, 8789-8790

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Ludwig-Maximilians-Universität München, Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8345</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Aufbau eines Systems isogener stabil diploider humaner Zelllinien mit gezielt durch RNA-Interferenz ausgeschalteten Genen zur Analyse des Zusammenhangs von DNA-Reparaturdefizienz, genomischer und chromosomaler Instabilität		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2005 bis 30.09.2008	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2005 bis 31.12.2005	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 300.930,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Eckardt-Schupp	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel dieses Vorhabens ist der Aufbau eines isogenen Systems von Telomerase-immortalisierten Human-Zelllinien zur Analyse des Zusammenhangs zwischen DNA-Reparaturdefizienz und genomischer Instabilität. Dazu sollen ausgehend von einer Wildtyp-Zelllinie weitere Tochterzelllinien (TZL) etabliert werden in denen mit Hilfe der RNAi-Technik gezielt Gene supprimiert werden, die für die zelluläre Entscheidung für einen bestimmten Doppelstrangbruch (DSB)-Reparaturprozess eine Rolle spielen. Anschließend sollen die Tochterzelllinien mit einer Vielzahl von molekularen und zytogenetischen Techniken (z.B. Strahlenempfindlichkeit, Zellzyklus-Checkpointaktivierung, DSB-Reparatur-Effizienz, Chromosomenaberrationen) charakterisiert werden. Von besonderem Interesse ist dabei die quantitative und qualitative Analyse der Reparatur von sequenzspezifisch induzierten chromosomalen DSBs. Dazu sollen geeignete Vektorsubstrate in das Genom der Zelllinien integriert werden, die zur Unterscheidung von homologer Rekombination (HR) und Nicht-homologer Endverknüpfung (nonhomologous endjoining, NHEJ) geeignet sind.

Mit Hilfe der isogenen Zelllinien und der genannten Testverfahren soll der von uns postulierte kausale Zusammenhang von Doppelstrangbruchreparatur und genomischer bzw. chromosomaler Stabilität nachgewiesen werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP 1: Auswahl und molekulare sowie zytogenetische Charakterisierung einer geeigneten telomerase-immortalisierten humanen Zelllinie
- AP 2: Herstellung und Charakterisierung abgeleiteter Tochterzelllinien durch Integration von neuen Vektorsubstraten, die parallel die qualitative und quantitative Analyse von HR und NHEJ ermöglichen
- AP 3: Etablierung der RNAi-Technik zur Ausschaltung von ausgewählten Genen für HR und NHEJ zur Erzeugung von HR bzw. NHEJ defizienten Kontrollzelllinien und phänotypische Charakterisierung dieser Zelllinien
- AP 4: Spezifische Ausschaltung von Genen für die eine Funktion bei der Regulation von DSB-Reparaturwegen postuliert wird
- AP 5: Charakterisierung der verschiedenen TZL mit ihren spezifisch ausgeschalteten Genen mittels der für die Wildtyp-Linie etablierten Assays. Auswertung der Ergebnisse und Test der Hypothese

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

AP 1: Als Modellzelllinie für dieses Projekt wurde eine humane retinale Epithelzelllinie (hTERT-RPE1) ausgewählt. Diese Zelllinie ist mit dem Gen der katalytischen Untereinheit der Telomerase (hTERT) transfiziert und verfügt damit über eine prinzipiell unbegrenzte Lebensdauer. Das wichtigste Auswahlkriterium für diese Zelllinie war ihre gute Transfizierbarkeit sowohl mit Plasmid-DNA als auch mit chemisch synthetisierten siRNAs.

Die Zelllinie wurde bereits bezüglich ihrer Strahlenempfindlichkeit mittels Proliferationsassay und Koloniebildungsassay charakterisiert.

Außerdem wurden bereits erste Versuche zur Charakterisierung der Reparatur von DNA-Einzel- und Doppelstrangbrüchen nach  $\gamma$ -Bestrahlung mittels Comet-Assay und Nachweis von  $\gamma$ H2AX-Foci gemacht.

AP 2: In eigenen Vorarbeiten wurde bereits vor Projektbeginn ein Vektor (pDSon-neo) konstruiert, der zur Unterscheidung von HR und NHEJ bei der DSB-Reparatur eingesetzt werden kann.

AP 3 + AP 4: Gegen ein Kontrollgen (KU70) und ein potentielles Regulationsgen der DSB-Reparatur (NBS1) wurden chemisch synthetisierte siRNAs entworfen und erfolgreich zur Herunterregulierung eingesetzt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Etablierung von Verfahren zur Analyse von genomischen Aberrationen in RPE-Zellen (z.B. spektrale Karyotypisierung, SKY)

AP 2: Genomische Integration von pDSon-neo in RPE-Zellen und Quantifizierung der Integrationsereignisse

AP 3: Identifizierung von geeigneten siRNA-Sequenzen gegen weitere Reparaturgene. Klonierung der bereits gefundenen siRNA Sequenzen in Expressionsvektoren und deren Integration in RPE-Zellen zur Herstellung stabiler „knockdown-Zellen“.



### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine





## 2.3 Ausführende Forschungsstellen


### **Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin**

- 02 S 8021 Entwicklung von Beurteilungsmethoden für Transport- und Lagerbehälter mit erhöhten metallischen Reststoffanteilen -Weiterführende Untersuchungen (EBER III)-  44
- 02 S 8274 Fallversuche mit Brennelement-/HAW-Transport- und Lagerbehältern in Originalgröße  76



### **DBE Technology GmbH, Eschenstraße 55, 31224 Peine**

- 02 S 8112 Abdichtung von Wegsamkeiten in Salzformationen mit kristallisierenden Evaporitmaterialien (AISKRISTALL)  48
- 02 S 8234 Vorstudie über die Rückführung der Wiederaufarbeitungsabfälle von Brennelementen deutscher Forschungsreaktoren aus der WA Dounreay in Schottland (RETURN)  70

### **Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Str., 52428 Jülich**

- 02 S 8315 Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen  84


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

- 02 S 8182 Untersuchungen zur Strahlenschutz-Vorsorge für radionuklidbelastetes Substrat: Mikrobieller Beitrag zur Bioakkumulation aus Bauschutt  62
- 02 S 8294 Kontrolle biologischer Untersuchungen bei der Dekontamination heterogener, schwach radioaktiv kontaminierter Geosubstrate für die Strahlenschutzvorsorge  80



### **Gesellschaft für Schwerionenforschung mit beschränkter Haftung, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt**

- 02 S 8203 Genetische Wirkung dicht ionisierender Strahlen - *Strahlenforschung*  64

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

- 02 S 8162 Verbundprojekt: Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abprodukt-Konditionierung  58

### **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*  74
- 02 S 8345 Aufbau eines Systems isogener stabil diploider humaner Zelllinien mit gezielt durch RNA-Interferenz ausgeschalteten Genen zur Analyse des Zusammenhanges von DNA-Reparaturdefizienz, genomischer und chromosomaler Instabilität - *Strahlenforschung*  90

<b>Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Templergraben 55, 52062 Aachen</b>
--

- |           |  |    |
|-----------|--|----|
| 02 S 8152 | Messmethoden zur Charakterisierung radioaktiver Abfälle und zur Freimessung von Reststoffen aus der Stilllegung kerntechnischer Anlagen (MESRAB) | 56 |
|-----------|--|----|

<b>Siempelkamp Nukleartechnik GmbH, Siempelkampstr. 45, 47803 Krefeld</b>
---

- |           |  |    |
|-----------|--|----|
| 02 S 8011 | Forschungsvorhaben zur Optimierung der Reststoffverwertung von Metallen -Weiterführende Untersuchungen (FORM III)- | 42 |
|-----------|--|----|

<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) | 60 |
|-----------|--|----|

<b>Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden</b>
--

- |           |  |    |
|-----------|--|----|
| 02 S 8122 | Verbundprojekt: Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abprodukt-Konditionierung | 50 |
|-----------|--|----|

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

- |           |   |    |
|-----------|---|----|
| 02 S 7951 | Entsorgung von Beryllium / Berylliumoxid und Cadmium aus Forschungsreaktoren  | 38 |
| 02 S 8142 | Selektive Tritium-Extraktion aus Wasser und Bindung auf einen Träger  | 54 |
| 02 S 8325 | Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen | 86 |

<b>Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), 76131 Karlsruhe</b>
--

- |           |  |    |
|-----------|--|----|
| 02 S 8223 | Inaktivierung von Mdm2 nach ionisierender Strahlung – Aufklärung der Signaltransduktionskette - <i>Strahlenforschung</i> | 68 |
| 02 S 8305 | Abbruch massiver Betonbauwerke der Energietechnik  | 82 |


<b>Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover</b>
---

- |           |   |    |
|-----------|---|----|
| 02 S 7991 | Entwicklung emissionsarmer und kostengünstiger Verfahrens- und Handhabungstechniken für Dekontaminations- und Abtragverfahren | 40 |
| 02 S 8102 | Erweiterung der Einsatzgrenzen modularer Schneidtechnologien für den kostengünstigen Rückbau kerntechnischer Anlagen, EMOS    | 46 |
| 02 S 8284 | Untersuchungen zur Sicherheit gegen Behälterkorrosion in Langzeitzwischenlagern   | 78 |


<b>Universität des Saarlandes, Im Stadtwald, 66123 Saarbrücken</b>
--

- |           |  |    |
|-----------|--|----|
| 02 S 8132 | Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung - <i>Strahlenforschung</i> | 52 |
| 02 S 8335 | Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung - <i>Strahlenforschung</i> | 88 |

**Universitätsklinikum Düsseldorf, Moorenstraße 5, 40225 Düsseldorf**

- 02 S 8213 Mechanismen der Zytotoxizität durch Alpha-Strahlung in humanen  66  
normalen und malignen hämatopoetischen Zellen  
- *Strahlenforschung*

**Universitätsklinikum Essen, Universität Duisburg-Essen, Hufelandstraße 55, 45147 Essen**

- 02 S 8254 Checkpoint Manipulation als Strategie für den Strahlenschutz und für  72  
die Strahlensensibilisierung von Säugetierzellen  
- *Strahlenforschung*