

**Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft**

**PTE-S Nr. 17**

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

**Berichtszeitraum: 01. Juli - 31. Dezember 2008**

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

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
März 2009**



## **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 PTKA-WTE u. a. für BMBF, Referat 713, 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 PTKA-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
- 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.

Das Stilllegungsprojekt des Forschungsreaktors TRIGA Heidelberg II ist seit dem 31.12.2006 abgeschlossen, daher entfällt die zuletzt in PTE-S Nr. 13 erfolgte Darstellung.

Die Verantwortung für die Schließung der Schachtanlage Asse ist am 01.01.2009 an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit übergegangen, daher entfällt die zuletzt in PTE-S Nr. 16 erfolgte Darstellung.

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

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

Da Referat 713 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          |
| <b>1.2 AVR.....</b>   | <b>5</b>   |
| <b>1.3 FZ Karlsruhe.....</b>  | <b>9</b>   |
| HDB .....   | 10         |
| KNK .....   | 12         |
| MZFR.....   | 14         |
| <b>1.4 WAK .....</b>  | <b>17</b>  |
| <b>1.5 THTR 300 .....</b>   | <b>21</b>  |
| <b>1.6 Projekt MAREN bei GKSS .....</b>                                   | <b>25</b>  |
| <br>  |            |
| <b>2 FuE-Vorhaben „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“ .....</b> | <b>29</b>  |
| <b>2.1 Fördervorhaben .....</b>   | <b>29</b>  |
| <b>2.2 Formalisierte Zwischenberichte .....</b>                           | <b>33</b>  |
| <b>2.3 Ausführende Forschungsstellen .....</b>                            | <b>105</b> |





# **1 Stilllegungsprojekte des BMBF**

## **1.1 FZ Jülich**

|   |   |
|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Forschungszentrum Jülich GmbH, Postfach 11 60, 52412 Jülich  |   |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Stilllegung und Abbau des Forschungsreaktors FRJ-1 (MERLIN) |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>1996 bis 2009   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>30,2 Mio. €   | <b>Projektleiter:</b><br>Dipl.-Ing. Stahn             |

## 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Der Forschungsreaktor FRJ-1 (MERLIN) wurde nach ca. 21 Betriebsjahren 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.

Der Rückbau der Anlage erfolgt seit 1996 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

Das Projektziel „Freimessen der Reaktorhalle mit anschließender Entlassung aus dem Anwendungsbereich des Atomgesetzes“, welches das Ende der Arbeiten entsprechend Position 4 der zuvor genannten Tätigkeiten bedeutet, wurde Ende September 2007 erreicht. Anschließend wurde die Reaktorhalle abgerissen.

Mit Blick auf die Nebengebäude des FRJ-1 wird davon ausgegangen, dass der Abriss in 2009 abgeschlossen werden kann.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Mit der Bewilligung der Förderungsmittel des Bundes konnten die weit fortgeschrittenen und vor dem Abschluss stehenden Arbeiten weiterhin mit hoher Priorität durchgeführt werden:

### 2.1 Konventioneller Abriss der Reaktorhalle

Obwohl die Verfüllung der Baugrube und die Begradigung des ehemaligen Reaktorstandorts erst Anfang August abgeschlossen wurde, konnte die Einweihung der „Grünen Wiese“ und die symbolische Pflanzung eines Baumes pünktlich am 08.09.2008 stattfinden. Gewählt wurde eine Eiche, als Symbolik dafür, dass einst ein Eichenwald dem Bau der Reaktoren weichen musste.

Insgesamt wurden beim konventionellen Abriss der Reaktorhalle des FRJ-1 Materialien mit

einem Gesamtgewicht von ca. 7.000 t abgebaut und konventionell entsorgt. Bei diesen Materialien handelte es sich um Stahl, Aluminium, Mauerwerk und insbesondere Beton.

## 2.2 Nebengebäude

Der Rückbau und die Freimessung der Durchgangsgarderobe, des Schleusenvorraums und des Reaktorlabors sowie die Demontage der Abwasserauffanganlage konnten im Berichtszeitraum abgeschlossen werden.

Weitere wesentliche Schritte bestanden in der endgültigen Außerbetriebnahme des Diesellagregates, der 48V-, der 110V-Batterieanlage und der C-Netz-USV-Anlage.

Zum Ende des Berichtszeitraums waren die Nebengebäude vollständig ausgeräumt und von den Medienversorgungen getrennt. Des Weiteren konnten die erforderlichen Freigabemessungen und die beweissichernden Messungen abgeschlossen werden. Auch die Kontrollmessungen der Abteilung S des Forschungszentrums Jülich konnten beendet werden. Die erforderlichen Kontrollmessungen des TÜV stehen noch aus.

Darüber hinaus wurde im Berichtszeitraum bereits der Entwurf eines Freigabeantrags erstellt, der letztendlich für die Entlassung der Nebengebäude aus dem Regelungsbereich des AtG bei der atomrechtlichen Genehmigungsbehörde einzureichen ist.

Zwecks Durchführung der Abrisstätigkeiten wurden im Berichtszeitraum zudem die erforderlichen Ausschreibungsunterlagen erstellt und das Projekt wurde öffentlich ausgeschrieben.

## 3. Geplante Weiterarbeit

- Kontrollmessungen des TÜV
- Antrag auf Freigabe der Nebengebäude mit anschließender Entlassung aus dem Regelungsbereich des Atomgesetzes
- Vergabe des Auftrags und Durchführung von Tätigkeiten zum konventionellen Abriss
- Rekultivierung des Geländes

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

Sachstandsberichte an BMBF (Bund) und MSWWF (Land)

## 5. Kosten

|                                    |                      |
|------------------------------------|----------------------|
| Kosten bisher (von 1996 bis 2007): | 28,74 Mio. €         |
| Kosten 2008:                       | 1,0 Mio. €           |
| Zukünftige Kosten:                 | ca. 0,5 Mio. €       |
| Geldgeber:                         | Bund 90 %, Land 10 % |



## 1.2 AVR

|  |   |
|--|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>AVR GmbH, Wilhelm-Johnen-Straß3, 52428 Jülich |   |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Vollständiger Abbau der AVR-Anlage           |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>1987 bis 2015                              | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>443,7 Mio. €                           | <b>Projektleiter:</b><br>Dipl.-Ing. Rittscher         |

## 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Der AVR - Versuchsreaktor 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 (RB) als Ganzes gezogen und außerhalb der Anlage bis zu seiner späteren Zerlegung zwischengelagert worden ist.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Der große, wichtige Meilenstein „**Befüllen des Reaktorbehälters mit Porenleichtbeton**“ (PLB) wurde am 04. November 2008 erfolgreich durchgeführt. In knapp 10 Stunden war der Reaktorbehälter mit ca. 500 m<sup>3</sup> PLB befüllt. Am 26. November 2008 wurden am oberen Flansch des Reaktorbehälters ca. 500 l PLB nach befüllt. Die Dosisleistung des verfüllten Reaktorbehälters sank erheblich.

Unterhalb des **Verschluss-System 1** wurde mit der Öffnung der Schutzbehälterkuppel begonnen. Die **Demontagen** an den Komponenten und Systemen im Schutzbehälter wurden wie vorgesehen fortgesetzt. Die Entsorgung und Weiterbehandlung demontierter Anlagenteile stehen im Einklang mit der Demontage.

Am 08. Juli 2008 wurde der Entwurf **Genehmigung zum Vollständigen Abbau** der Anlage (7/16) dem BMU übergeben. SSK und ESK haben ihre Stellungnahme hierzu zwischenzeitlich fertig gestellt. Die endgültige Genehmigung wird voraussichtlich Anfang 2009 erteilt.

Die Erörterung der Einwände zur Genehmigung des **Reaktorbehälter-Zwischenlagers** fand am 24. November 2008 statt. Für das Verfahren kritische Einwände sind nicht eingegangen.

Die Baumaßnahme dieser Lagerhalle wurde öffentlich ausgeschrieben. Nach Auswertung der Angebote (die Preise lagen innerhalb der Planwerte) hat AVR Mitte Dezember 2008 den Zuschlag erteilt.

Die **atomrechtliche Umgangsgenehmigung** für die **Abfall-Lager (Halle V)** liegt der AVR seit Oktober 2008 vor. Die dort aufgeführten Auflagen werden zurzeit erfüllt. Parallel hierzu wird die Endabnahme entsprechend Landesbauordnung NRW vorbereitet und durchgeführt. Anschließend wird die Halle dem ordnungsgemäßen Betrieb übergeben (Anfang 2009).

Alle für den genehmigten **Betrieb** der Anlage erforderlichen Instandhaltungsarbeiten und wiederkehrenden Prüfungen wurden termingerecht und ohne Beanstandung durchgeführt. Das Messprogramm zur Überwachung der **Bodenkontamination des Betriebsgeländes** wurde und wird gemäß den behördlichen Vorgaben kontinuierlich durchgeführt.

Der **Wechselschichtdienst** wurde und wird unverändert fortgesetzt.

### 3. Geplante Weiterarbeit

- Weiterführung der Demontearbeiten der elektro- und verfahrenstechnischen Anlagenteile im Schutzbehälter.
- Abschluss der Demontearbeiten der Komponenten der +21-m-Bühne und des Teil 1 der Gasvorreinigung.
- Trennen und Teildemontage der Abschaltstabhüllrohre.

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

Controllingberichte an BMBF, BMF (Bund) und MIWFT (Land)  
Sachstandsberichte an BMBF, BMF (Bund) und MIWFT (Land)

### 5. Kosten

|                                    |                     |
|------------------------------------|---------------------|
| Kosten bisher (von 1987 bis 2007): | 287,6 Mio. €        |
| Kosten Januar-Dezember 2008:       | 27,7 Mio. €         |
| Zukünftige Kosten:                 | <u>128,4 Mio. €</u> |
|                                    | 443,7 Mio. €        |

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

Wegen der Befüllung des Reaktorbehälters mit Porenleichtbeton wurde im Berichtszeitraum ein Mehrbedarf in Höhe von 4,5 Mio. € für das Wirtschaftsjahr 2008 angemeldet und von den Zuwendungsgebern genehmigt.

AVR hat auf Basis des Anfang Juli 2008 dem BMU überreichten Genehmigungsentwurfes zum vollständigen Abbau der Anlage die Projektkosten, die Projektlaufzeit und die jährlichen Finanzströme bewertet. Zusammen mit dem Nachtrag 2008 steigen die Gesamtprojektkosten um 45 Mio. €, die Projektlaufzeit verlängert sich bis 2015.





### **1.3 FZ Karlsruhe**

|   |   |
|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe              |   |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Stilllegung von Teilanlagen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>1994 bis 2030   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>113,0 Mio. €  | <b>Projektleiter:</b><br>NN                           |

### 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 I und II
- Zementierung I und II
- LAW-Verschrottung
- MAW-Verschrottung
- Geräte-Dekontamination
- Verbrennungsanlage
- Reststofflager
- Zwischenlager für wärmeentwickelnde und nicht wärmeentwickelnde Abfallgebände
- Analytische Anlagen
  - Radiochemisches Labor
  - Fassmess-Anlage
  - Freimess-Labor.

Parallel zum Fortschritt der Rückbauarbeiten bei MZFR und KNK wurden / 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 I und Zementierung II, Bau 545  
Das Genehmigungsverfahren für den Rückbau ruht, da die Anlagen für die Entsorgung des Flüssigabfalls aus dem Betrieb der VEK vorgehalten werden.

## 3. Geplante Weiterarbeit

- LAW-Eindampfung I und Zementierung II, Bau 545:  
Das Genehmigungsverfahren für den Rückbau ruht, da die Anlagen für die Entsorgung des Flüssigabfalls aus dem Betrieb der VEK vorgehalten werden.
- Abwasser-Sammelstation Y561 C1, Bau 561:  
Für die Demontage der MSR- und verfahrenstechnischen Komponenten wurden Antragsunterlagen beim Umweltministerium und TÜV eingereicht.

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

Keine.

## 5. Kosten

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| Kosten bisher (von 1994 bis 06/2008): | 12,08 Mio. €         |
| Kosten Berichtszeitraum:              | 0,00 Mio. €          |
| Zukünftige Kosten:                    | 100,92 Mio. €        |
| Geldgeber:                            | Bund 90 %, Land 10 % |

|  |   |
|--|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe   |   |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Stilllegung der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage (KNK) |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>1992 bis 2013  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>315,3 Mio. €   | <b>Projektleiter:</b><br>Dipl.-Ing. Minges            |

### 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 übertragen. Der dort erzeugte Dampf betrieb einen Turbogenerator.

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

1. Abbau Sekundärsysteme, Tertiärsystem, Objektschutz, Blendenverstellrichtung, Wechselmaschine; Entsorgung von Brennelementen, Primär- u. Sekundärnatrium (1.- 5. SG)
2. Umstellung der E-Versorgung und Abriss von Gebäuden (6. SG)
3. Verbleibende Arbeiten zum Abbau der Primärsysteme (7. SG)
4. Abbau der Primärsysteme (8. SG)
5. Ausbau Reaktortank und Abbau biologischer Schild (9. SG)
6. Abbau Hilfssysteme, Freimessen u. Abriss der 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

Nach dem Abschluss aller Zerlege- und Demontageschritte der Maßnahme 1 wurden die zugehörigen Restarbeiten in Form der Außerbetriebsetzung und Demontage nicht mehr benötigter Einrichtungen und Hilfsmittel für die Maßnahmen 2 und 3 der 9. SG innerhalb und außerhalb der Einhausung durchgeführt. Hierbei wurden elektrische Schaltanlagen teilweise außer Betrieb gesetzt bzw. an die neuen Betriebszustände angepasst. Das Zerlegewerkzeug einschließlich der Anbaumodule und sonstiger Werkzeuge wurde aus der Einhausung ausgeschleust, diese wurde umfangreich dekontaminiert. Die Lüftungsanlage wurde auf Luftbetrieb umgestellt. Alle ausgebauten Natriumbehafteten Komponenten und Teile wurden in der Natriumwaschanlage gewaschen. Der Transport dieser im Pufferlager zwischengelagerten Teile zur HDB wird durch die beschränkte Anzahl der vorhandenen Umlaufcontainer zeitlich beeinflusst; Reparaturen an der Waschanlage haben ebenso zu Verzögerungen geführt. Die Transportarbeiten finden sequentiell zu den Vorbereitungen für Maßnahme 2 statt. Gegenwärtig befinden sich noch 15 Waschkörbe mit Reaktortankteilen im Pufferlager.

Für die Stilllegungsmaßnahme 2 wurden die Planungs- und Beschaffungsvorgänge fortgeführt sowie Umbaumaßnahmen in der KNK vorgenommen. Sie gliedert sich in die Arbeitspakete Demontage der Wärmeisolierung sowie Abbau und Entsorgung der Primärabschirmung. Während sich die Beschaffung der Geräte für den Ausbau der Primärabschirmung in einem weit fortgeschrittenen Stadium befindet, konnte die Vergabe von Herstellung und Lieferung des Werkzeugträgersystems (WTS) erst Mitte Juli 2008 erfolgen. Eine ähnliche Situation lag bei

den Ausschreibungen „Umbau der Einhausung“ und „Containerschleuse“ vor. Ende 2008 befanden sich alle relevanten bzw. zeitkritischen Gewerke in der Fertigungs- oder Bauphase. Im Zuge dieser Arbeiten erfolgte die Herstellung einer großen Öffnung (für die spätere Parkposition des Hebewerkzeugs) in das Dach der Einhausung, eine notwendige Voraussetzung für die weiteren Vorbereitungsmaßnahmen in Form des Umbaus des Zellenkrans, des Containerbeladekrans und des Einbringens der neuen Reaktorschachtabdeckung. Diese Arbeiten schließen sich unmittelbar an den Umbau der Einhausung an.

Für die Containerschleuse wurden erste Fertigungsfreigaben erteilt und mit der Konstruktion und Fertigung begonnen. Das WTS als zentrales Hilfsmittel für den Ausbau der Wärmeisolierung wurde im Dezember im Herstellerwerk bis auf Einzelpunkte abgenommen. Hier werden weitere Prüfungen und Abnahmeschritte folgen. Ferner wurde die neue Umluftfilteranlage montiert. Sie dient dem Staubaustrag aus der Reaktorkaverne während des Abbaus der Schamottesteine (Ausbau der Wärmeisolierung). Mit der Inbetriebnahme wurde begonnen. Für beide Arbeitspakete der Maßnahme 2 wurden weitere Unterlagen für das atomrechtliche Aufsichts- und Genehmigungsverfahren in Form von Ausführungsbeschreibungen und zugehörigen Anlagen erstellt und bei der Behörde eingereicht. Dieser Vorgang dauert noch an und wird von der technischen Ausführung der sich in der Beschaffung befindlichen Einrichtungen beeinflusst. Dies betrifft zum Beispiel Berge- und Interventionskonzepte, die erst nach erfolgter Konstruktionsauslegung der jeweiligen Hilfsmittel feststehen und deren Umsetzung im Verbundbetrieb mit anderen Einrichtungen erst im Anschluss dieser Detailplanung beschrieben werden kann.

Der KNK-Teststand auf dem Betriebsgelände des MZFR für die Schulung und Erprobung der Maßnahme 2 wurde fertig eingerichtet. Im August und September 2008 wurde der Schalungstank zur Simulation der geometrischen Randbedingungen und die darin enthaltenen bzw. den Rückbau umfassenden Komponenten aufgestellt. Der Beginn der Personalschulung sowie die Erprobung des Hebewerkzeugs wurden von Dezember auf Januar verschoben. Gründe hierfür waren technische Schwierigkeiten bei der Inbetriebnahme des Hebewerkzeugs. Das für die Durchführung der Maßnahmen erforderliche Personal wurde in der Ausschreibung „Fernhantierte Demontage von Reaktorbauteilen“ angefragt. Der Auftrag wurde vergeben.

Maßnahme 3: Der Rückbau des Biologischen Schildes befindet sich in der Planungsphase. Schwerpunkte der Planung waren Untersuchungen zur Zerlegung des Schalungstanks. Hierzu wurden Versuche mit dem Hot-Wire-Plasmaschneidverfahren durchgeführt, um dessen Eignung zu verifizieren. Der Abschlussbericht der Untersuchung zeigt, dass das Verfahren geeignet ist, den Schalungstank des biologischen Schildes zu zerlegen. Das Konzept wird auf Grundlage dieser Ergebnisse weitergeführt. Die Detailplanung des Verpackungskonzeptes für den aktivierten Bauschutt wurde fortgeführt. Die Erstellung der zugehörigen Ausschreibungsunterlagen für die notwendigen Gerätebeschaffungen wurde eingeleitet.

Am 06.08.08 wurde die erste der insgesamt 7 Kühlfallen von der HDB zur KNK transportiert. Die Zerlegung wurde innerhalb weniger Tage vollzogen. Der erste Waschgang wurde im Beisein des Gutachters durchgeführt. Aufgrund von Nachforderungen bezüglich der Ausstattung und Bedienung mussten Änderungen an der Anlage durchgeführt werden, die zu Verzögerungen des Waschprozesses geführt haben.

### 3. Geplante Weiterarbeit

9. SG: (Abbau Reaktortank, Primärabschirmung, Biol. Schild): Paket 2: Beschaffung/Montage (Inbetriebnahme Werkzeugträgersystem für Abbau Wärmeisolierung, Säge für Abbau Primärabschirmung, Reaktorschachtabdeckung, Anpassung Einhausung, Fertigung Container-Beladekran für Umbau Einhausung, Inbetriebnahme Hebewerkzeug); Beginn Schulung im Mockup für Abbau Biologisches Schild; Fortsetzung Planung Abbau Biol. Schild
10. SG: (Abbau Restsysteme, Dekontamination, Abriss Gebäude): Revision Sicherheitsbericht  
Kühlfallen: Zerlegen / Waschen 2. und 3. Kühlfalle.

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

Keine.

### 5. Kosten

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| Kosten bisher (von 1992 bis 06/2008): | 257,9 Mio. €         |
| Kosten Berichtszeitraum:              | 8,3 Mio. €           |
| Zukünftige Kosten:                    | 49,1 Mio. €          |
| Geldgeber:                            | Bund 90 %, Land 10 % |

|  |   |
|--|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe |   |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Stilllegung des Mehrzweck-Forschungsreaktors (MZFR)              |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>1985 bis 2012  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>311,4 Mio. €   | <b>Projektleiter:</b><br>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 einen vollständigen Rückbau in den folgenden acht Schritten vor, der mit acht Teilgenehmigungen (SG) abgewickelt werden soll:

- 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 sieben Schritte sind abgeschlossen. Das Erreichen des Rückbauziels „Grüne Wiese“ ist zur Mitte 2012 geplant.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Die Aufbauarbeiten im Teststand der 8. SG (MZFR-Maschinenhaus, Bau 905) wurden im 2. Halbjahr 2008 fortgeführt. Zur Umrüstung auf die Erfordernisse der 8. SG wurden folgende Arbeiten durchgeführt: Abschluss der Leistungen im Rahmen der 7. SG, Wartung und Instandhaltung im Rahmen der 8. SG an den weiter zu verwendenden Einrichtungen der 7. SG, Durchführung der Vergrößerung des Ausschnitts im Biologischen Schild, Vergabe und Beginn der Auftragnehmer-seitigen Detailplanung zur Reparatur des Lademaschinenkrans, Ver-

gabe, VPU-Erstellung und Demonstration der Innenrohrtrenneinrichtung zum Trennen der Mauerrohre des Biologischen Schildes sowie der Abschluss der Umrüstmaßnahmen innerhalb des Reaktorgebäudes für die Erfordernisse zum Rückbau des aktivierten Teils des Biol. Schildes.

An den terminkritischen Anbaugeräten für den Abbaubagger (ABB) zum Rückbau des aktivierten Teils des Biologischen Schildes, dem Universaltrenngerät (UTG) und Stahlbohrgerät (SBG), wurde die Erprobung fortgeführt. Verbesserungspotenzial wurde definiert und mit der Umsetzung begonnen. Der Nachweis für das vollständige Herstellen der Bohrungen im Liner (Dicke 10 mm) ist inzwischen auch für den Fräser mit 80 mm Durchmesser reproduzierbar (Bisherige Standzeit: 80er-Fräser: ca. 10 Bohrungen). Am 26.11. kam es zu einem erneuten Schaden am SBG. Es befindet sich seit dem in Reparatur beim Hersteller.

Um Stillstandszeiten bei der am MZFR vorgehaltenen Rückbaumannschaft zu vermeiden, entschloss man sich, am 05.12.08 einen Teil des Stahlliners im Teststand manuell zu demontieren, damit eine vorgezogene Erprobung der Anbaugeräte zum Betonabbau im Teststand unter Realbedingungen erfolgen kann. Die Prüfungen mit der beim Hersteller eingesetzten Hilfskonstruktion wurden fortgeführt, da die Traversen für ABB, Hänge- und Standgerüst (HSG) und Vorhaltegestell (VHG) aus dem Lieferumfang weiter nicht verfügbar sind. Die Gutachten zu den hierzu am 03.07.08 eingereichten Unterlagen liegen bisher nicht vollständig vor. Die bei unterschiedlichem Anbaugeräteeinsatz nicht akzeptable hohe Stromaufnahme wurde inzwischen durch Anpassung der Hydraulikeinstellung für die am MZFR verfügbaren Anbaugeräte behoben.

Die Schulung der Rückbaumannschaft wurde fortgeführt. Die Integration des für Hilfstätigkeiten vorgesehenen Master-Slave-Manipulators (MSM) in den Teststand ist im 1. Halbjahr 2008 erfolgt. Der im 3. Quartal eingetretene Display-Fehler am mobilen Bedien-Panel wurde bisher noch nicht behoben. Seit einem weiteren Schaden am 13.11.08 befindet sich der MSM in Reparatur beim Hersteller. Die Vergabe der erforderlichen Betonbefüllereinrichtung konnte aufgrund der erneut erforderlichen Ausschreibung erst im 4. Quartal 2008 erfolgen. Mit der Detailplanung wurde begonnen. Mit der Lieferung der Einrichtungen wird spätestens zu Beginn des 3. Quartals 2009 gerechnet.

Die Aufbauarbeiten am Träger- und Verfahrring, dem Hänge- und Standgerüst und dem zugehörigen Steuerstand in Bau 905 wurden abgeschlossen. Nach Optimierung der Software und Herabsetzung der Detektionsempfindlichkeit markiert die Ultraschall-Detektierereinrichtung (USD) inzwischen zuverlässig. Die Bestellungen für die Umrüstung der Krananlagen Bau 905 und 901 sind erfolgt. Mit dem Abschluss der Montagen der Kranhaken im Reaktorgebäude (Bau 901) ist aufgrund der erforderlichen Reparatur des Lademaschinenkrans im April 2009 zu rechnen.

Die Beauftragung für den Umbau des Systems „Radioaktives Abwasser“ ist erfolgt. Die zugehörigen Vorprüfunterlagen (VPU) wurden erstellt und zur Begutachtung eingereicht. Die planerischen Randbedingungen zur Erstellung der Leistungsbeschreibung für die schlüsselfertige Errichtung der Halle zur Behandlung tritiumbelasteter Betonstrukturen aus dem Gebäudeabbruch wurden präzisiert. Die planerischen Randbedingungen zum Rückbau des Fortluftkamins wurden erarbeitet und die Leistungsbeschreibung erstellt. Die Planungsleistungen für die Entkoppelung der Infrastruktur zwischen den einzelnen MZFR-Gebäuden durch Ersatzmaßnahmen (Lüftung, E-Versorgung) wurden fortgeführt. Erst nach Abschluss der Umbauarbeiten am radioaktiven Abwassersystem ist es möglich, Abschätzungen über den erforderlichen/zusätzlichen Dekontaminationsaufwand in diesem Bereich vorzunehmen.

### 3. Geplante Weiterarbeit

8. SG (Rückbau aktivierter Teil des Biol. Schildes, Dekontamination und Abriss Gebäude):  
 Teststand für Zerlegung Biol. Schild - Erprobung der Einrichtungen; Planung / Einbau / Erprobung Transport- und Verpackungs-Einrichtungen für abgebauten aktivierten Beton; Planung zur Errichtung Halle für Betonschutt-Verarbeitung; Vorbereitende Dekontaminationsarbeiten in Nebengebäuden; Ausschreibung Demontage Abluftkamin; Planungen zu Vereinfachung/Rückbau betrieblicher Systeme (Abwasser, Lüftung, E-Versorgung).

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

Keine.

### 5. Kosten

|                                       |              |
|---------------------------------------|--------------|
| Kosten bisher (von 1985 bis 06/2008): | 261,0 Mio. € |
| Kosten Berichtszeitraum:              | 7,3 Mio. €   |
| Zukünftige Kosten:                    | 43,1 Mio. €  |
| Geldgeber:                            | Bund 100 %   |



**1.4 WAK**

|   |   |
|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungsgesellschaft mbH,<br>Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen |   |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Stilllegung und Rückbau der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (StiWAK)  |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>1991 bis 2023 (2035)  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>2.631,0 Mio. € (Projektkostenschätzung 2007)  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Fleisch                  |

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Die Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) wurde von 1967 bis 1971 als Pilotanlage zur Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente auf dem Gelände des Forschungszentrums Karlsruhe errichtet und von der heutigen WAK Rückbau- und Entsorgungsgesellschaft mbH im Auftrag des Forschungszentrums Karlsruhe betrieben. Die WAK wurde nach 20-jähriger Aufarbeitungsphase Mitte 1991 außer Betrieb genommen. In dieser Zeit waren 208 t Kernbrennstoffe bis zu einem maximalen Abbrand von 40 GWd/tU wiederaufgearbeitet worden.

Seit Mitte 1991 läuft das Projekt „Stilllegung und Rückbau der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (StiWAK)“. Die heutige WAK GmbH hat bis Ende 2005 im Auftrag des Forschungszentrums Karlsruhe den Restbetrieb der Anlagen einschließlich der Lagerung der hochradioaktiven Spaltproduktlösung (HAWC) sowie die Stilllegung und den Rückbau aller Einrichtungen und Anlagenteile auf dem WAK-Gelände durchführt. Das Forschungszentrum selbst hat bis Ende 2005 die Errichtung der Verglasungseinrichtung Karlsruhe (VEK) abgewickelt.

Für die Abwicklung des Gesamtprojektes Stilllegung und Rückbau WAK einschließlich der Errichtung und des Betriebes der VEK ist seit dem 1.1.2006 die WAK Rückbau- und Entsorgungsgesellschaft mbH allein verantwortlich. Hierzu wurden die genehmigungs-, vermögens- und zuwendungsrechtlichen Voraussetzungen geschaffen. Als Tochter des Bundesunternehmens EWN GmbH ist die WAK GmbH heute institutioneller Zuwendungsempfänger. Seit 01.01.2008 liegt eine neue Projektkostenschätzung vor, die auch neu hinzugekommene Entsorgungsaufgaben (Zwischenlagerung und die Herstellung der Endlagerfähigkeit), teilweise im Auftrag Dritter, abdeckt.

Der Rückbau der WAK erfolgt in sechs technisch überschaubaren Schritten:

1. Außerbetriebnahme funktionsloser Systeme im Prozessgebäude: Dieser Schritt ist abgeschlossen.
2. Demontage von Prozesssystemen ohne Fernhantierung, Außerbetriebnahme und Abbau bereits stillgelegter Anlagenteile im Prozessgebäude: Dieser Schritt ist abgeschlossen.
3. Stufenweiser Rückbau aller Einrichtungen im Prozessgebäude unabhängig von der HAWC-Lagerung und HAWC-Entsorgung: Alle Anlagenteile sind ausgebaut. Die Dekontamination der Gebäude-Innenstruktur läuft.

4. Deregulierung nach Verglasungsende: Durch die Außerbetriebnahme von Anlagenteilen und die Anpassung des Betriebshandbuches sollen die betrieblichen Aktivitäten auf das Niveau eines reinen Rückbauprojektes reduziert und die Restbetriebskosten weiter minimiert werden.
5. Stufenweiser Rückbau der HAWC-Lagergebäude LAVA/HWL und der VEK: Dies erfolgt in 10 Rückbaubereichen (RB), die jeweils einzeln zu genehmigen sind. Die Errichtung des HWL-Anbaus Süd (RB 5.1) sowie die fernhantierte Demontage der MAW-Behälter mit HWL, Raum 6 (RB 5.2) sind genehmigt.
6. Konventioneller Abriss der Gebäude und Rekultivierung des Geländes.

Vor der Durchführung der Schritte 4, 5 und 6 müssen ca. 60 m<sup>3</sup> HAWC ( $9 \cdot 10^{17}$  Bq  $\beta$ -,  $\gamma$ -Strahler und  $8 \cdot 10^{15}$  Bq  $\alpha$ -Strahler) in 2009/2010 in der VEK verglast werden.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Die Errichtung der *Verglasungsanlage VEK* ist abgeschlossen und wird durch wiederkehrende Prüfungen und vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen bis zur Erteilung der 2. TBG in Betriebsbereitschaft gehalten.

Die als wesentliche Voraussetzung für die Erteilung der 2. *Teilbetriebsgenehmigung (2. TBG)* erforderliche *Genehmigung zur Zwischenlagerung der CASTOR-Behälter* mit VEK-Kokillen im ZLN liegt beim BfS im Entwurf zur behördeninternen Abstimmung vor. Die ZLN-Genehmigung wird zeitgleich mit der Genehmigung 2. TBG im ersten Quartal 2009 erteilt.

Im *Prozessgebäude (Schritt 3)* wurden im ersten Schritt die Dekontaminationsarbeiten im Brennelement-Wasserbecken abgeschlossen. Anschließend wurden der Abtrag der Beschichtung, die Seilsägearbeiten zur Verbreiterung der Hubschottöffnung, die Arbeiten zum Ausbau der Überlaufrohre sowie der Ausbau der Stützfüße der Brennelement-Lagergestelle durchgeführt. In einzelnen Prozesszellen wurden die geplanten Arbeiten zum Ausbohren von Dübeln, Demontage der Arbeitsbühnen und Beseitigung von lokaler Kontamination in Baustrukturen durchgeführt. Insgesamt wurden 174 Mg Demontagemassen (Stahlbau und Beton) und ca. 3.290 Dübel ausgebaut sowie ca. 950 m<sup>2</sup> Oberflächen dekontaminiert.

Die erste Phase des radiologischen Mess- und Probenahmeprogramms zur Eingrenzung kontaminationsverdächtiger Fugenflächen, deren bautechnische Beseitigung erhebliche Auswirkungen auf die Gebäudestatik haben könnten, wurde abgeschlossen und dokumentiert.

Für die Maßnahmen zur *Deregulierung nach Verglasungsende (Schritt 4)* läuft die Begutachtung. Für die Detailplanung und Ausführung der Lüftungstechnischen und elektrotechnischen Maßnahmen wurden die entsprechenden Leistungsverzeichnisse sowie zugehörigen Ausschreibungsunterlagen erstellt.

Im Rückbau der *HAWC-Anlagen (Schritt 5)* wurde der erste Wanddurchbruch zu Raum 6 der HWL mit MAW-Behältern HWL (Rückbaubereich 5.2) zunächst manuell und in Folge des Anstieges der Ortsdosisleistung unter dem Einsatz fernhantierter Werkzeuge fertig gestellt. Die auftretenden Kontaminationen wurden anschließend beseitigt und die Vorbereitungen zum Aufbau einer Abschirmwand abgeschlossen. Der Gutachtensentwurf für den fernhantierten Rückbau der HAWC-Lagerbehälter HWL/LAVA (Rückbaubereich 5.3) liegt vor. Die entsprechenden Gutachtensbedingungen werden Anfang 2009 abgearbeitet. Für den fernhantierten Rückbau einzelner Zellen der LAVA und des Hochaktiv-Labors in der LAVA (Rückbaubereich 5.4) erfolgt derzeit die Erstellung der Genehmigungsunterlagen.

Im Rahmen der *Entsorgungsaufgaben* verfolgt die WAK weiterhin die Strategie, die Herstellung der Endlagerfähigkeit der Altabfälle durch die HDB nur aus sicherheitsrelevanten Gründen (wie Korrosion) durchzuführen, da die endgültigen Vorgaben des BfS zu den Endlagerbedingungen noch nicht vollständig sind.

### 3. Geplante Weiterarbeit

#### WAK-Rückbau:

**VEK:** Erteilung der 2. TBG und der ZLN-Lagergenehmigung. Vorbereitung der Herstellung der Heißen Anschlüsse VEK/LAVA und Durchführung des nuklearen Probebetriebes.

**Schritt 3:** Die Bewertung der Ergebnisse der radiologischen Bestandsaufnahmen im Prozessgebäude und die Erarbeitung der daraus folgenden erforderlichen Maßnahmen. Fortführen der Demontgearbeiten in weiteren Prozesszellen.

**Schritt 4:** Abschluss der Begutachtung und Vorlage eines ersten Entwurfs des Gutachtens. Definition und Beginn der Erarbeitung eines Konzepts für ein neues Betriebshandbuch mit reduziertem Umfang an Regelungen nach Abschluss des VEK-Betriebes und Rückbaus.

**Schritt 5:** Manuelle Herstellung/Fertigstellung der Wanddurchbrüche vom HWL-Anbaus Süd zum Raum 6 des HWL (Großteilschleuse und Fassausschleuse). Durchführung der Feststoffprobe und Revision der Antragsunterlagen nach Vorliegen der Analyseergebnisse aus Behälter 81.21. Planungen zur Entfernung, Verpackung und Entsorgung des Feststoffes aus Behälter 81.21. Vorbereitung der Folgeschritte.

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

J. Dux / WAK GmbH: “Decommissioning and Dismantling of the Karlsruhe Prototype Spent Fuel Reprocessing Facility (WAK)”, 45. TAG-Meeting, October 13 - 17, 2008, Sellafield / UK

R. Lamprecht, Y. Gauthier, M. Weishaupt / WAK GmbH; G. Roth, W. Grünwald / Forschungszentrum Karlsruhe GmbH: “Production of Qualified HLW Glass Canisters Demonstrated by Cold Test Operation of the VEK Plant”, Radioactive Waste Products, Würzburg, 27-31. Oktober 2008

Joachim Dux, Joachim Fleisch, Wolfgang Pfeifer / WAK GmbH: “Herausforderung beim Rückbau der HAWC-Behälter in der WAK”, 3. Symposium Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen, TÜV Nord, 26. - 27. November 2008, Hannover

### 5. Kosten

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Kosten bisher (von 07/1991 bis 06/2008): | 1.415,8 Mio. €        |
| Kosten Berichtszeitraum:                 | 60,5 Mio. €           |
| Zukünftige Kosten:                       | 1.154,7 Mio. €        |
| Geldgeber:                               | Bund, Land, Industrie |

**1.5 THTR 300**

|   |   |
|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Hochtemperatur-Kernkraftwerk GmbH, Siegenbeckstraße 10, 59071 Hamm |   |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Geordnete Restabwicklung des Projektes THTR 300                   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>1997 bis 2009   | <b>Berichtszeitraum:</b><br><i>Jahresbericht 2008</i> |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>94,5 Mio. €   | <b>Projektleiter:</b><br>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 Betriebselementen. Es handelte sich um eine Zweikreisanlage, bestehend aus einem Helium-Primärkühlkreislauf mit nachgeschaltetem Wasserdampfkreislauf und trockener Rückkühlung. Zum 1. September 1989 wurde der Beschluss zur Stilllegung der Anlage und Überführung in den sicheren Einschluss gefasst. In der Zeit von September 1989 bis September 1997 wurde das Genehmigungsverfahren zur Stilllegung, die Reaktorkernentladung und die Herstellung des sicheren Einschlusses durchgeführt. Zum 01.10.1997 wurde der Erhaltungsbetrieb der sicher eingeschlossenen Anlage THTR 300 aufgenommen.

Die sicher eingeschlossene Anlage THTR 300 besteht noch aus den Gebäuden

- Reaktorhalle
- Reaktorbetriebsgebäude
- Reaktorhilfsgebäude

mit den darin vorhandenen Anlagenteilen sowie

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

Alle übrigen baulichen Anlagen und Anlagenteile des Kernkraftwerkes THTR 300 wie das Maschinenhaus, das Elektroanlagegebäude, die Notstromdieselanlage, die Trafoanlagen, die Zellenkühltürme, die über- und unterirdischen Verbindungen u. s. w. wurden aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen.

Die Brennelemente sind aus der Anlage THTR 300 abtransportiert worden. Lediglich innerhalb des Spannbetonreaktordruckbehälters befindet sich noch ein durch Entladung technisch nicht entfernbare 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 endgültig 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 2008 ist für die sicher eingeschlossene Anlage THTR 300:

- das 19. Jahr nach der Abschaltung
- das 13. Jahr nach der Beendigung der Entladung des Reaktorkerns
- das 11. 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 2007 war kein meldepflichtiges Ereignis zu verzeichnen.

2008 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.

Die verkehrsrechtliche Zulassungsverlängerung der Transport- und Lagerbehältern CASTOR THTR/AVR gilt bis 2017.

Die Planungen und Maßnahmen der HKG für die Entsorgung der abgebrannten THTR-Brennelemente sind weiterhin darauf ausgerichtet, diese nach der Zwischenlagerung im Transportbehälterlager Ahaus in einem von der Bundesrepublik Deutschland zu errichtenden Endlager zu deponieren.

Als Endlager ist hierfür bislang der Salzstock Gorleben vorgesehen. Gemäß der im Juni 2001 zwischen der Bundesregierung und den kernkraftwerksbetreibenden Energieversorgungsunternehmen unterschriebenen Konsensvereinbarung sind derzeit die Erkundungsarbeiten im Salzstock Gorleben unterbrochen. Die Bundesregierung wird die notwendigen Maßnahmen ergreifen, um während dieses Moratoriums die bisherigen Planungsergebnisse und somit den Standort Gorleben zu sichern. Sie geht davon aus, dass ein Endlager für wärmeentwickelnde Abfälle erst ab dem Jahr 2030 zur Verfügung stehen wird.

Die für die Zwischenlagerung genutzten CASTOR-Behälter wurden in einer Studie des Forschungszentrums Jülich auf ihre Eignung für die Direkte Endlagerung untersucht. Sie sind als Alternative zum Referenzkonzept zur Einlagerung in POLLUX-Behältern oder in Gussfässern geeignet.

Für die Endlagerung vieler der in und beim Rückbau der Anlage THTR 300 anfallenden radioaktiven Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung kommt die ehemalige Eisenerzgrube Konrad in Betracht. Es wird derzeit von einer Inbetriebnahme im Jahr 2013 ausgegangen.

Für die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung stehen der HKG ausreichende Kapazitäten im internen Lager des THTR 300 sowie im Abfalllager Gorleben zur Verfügung.

### **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, Kabel, 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: | 48 Mio. € <sup>1)</sup>                |
| Geldgeber:                          | Bund, Land NRW, Gesellschafter der HKG |

<sup>1)</sup> vorbehaltlich der Bestätigung durch den Wirtschaftsprüfer



## **1.6 Projekt MAREN bei GKSS**

|   |   |
|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Postfach 11 60, 21494 Geesthacht |   |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Entsorgung radioaktiver Reststoffe (Projekt MAREN-1)                    |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>2002 bis 2012   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>36,8 Mio. €   | <b>Projektleiter:</b><br>N. Stehr                     |

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

GKSS Forschungszentrum GmbH ist Betreiber des Forschungsreaktors FRG-1 und der Ländersammelstelle 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 (236)
  
- 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 Maßnahmen (227, 237, 238, 239, 240)

## 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, Analysen und ggf. Trocknung der bereits konditionierten Gebinde bei FZK/HDB sowie zugehörige Sachverständigentätigkeit und Dokumentation. Vorbereitende Arbeiten Mengenerhöhung und Rückführung abgefertigter Gebinde, Datenzusammenstellung, Koordinationierung.
- Entsorgung FRG-Brennelemente (235)  
Im 2. Halbjahr wurden 32 Stück abgebrannte Brennelemente sowie ein Transportkanister mit 40 HEU Miniplatten in die USA ausgeführt.
- Aufarbeitung / Zwischenlagerung bestrahlter OH-Versuchsbrennstäbe (223)  
Vorbereitung transportrelevanter Infrastrukturen.
- Längerfristige Zwischenlagerung (227, 237, 238, 239)
- Weitere Abwicklung notwendiger Wartungs- und Infrastrukturmaßnahmen (Wartung / Instandhaltung im Heißen Labor, Sachverständigentätigkeit).
- Betriebsabwässer (236)  
Abtransport und Konditionierung von 80 m<sup>3</sup> Betriebsabwässer durch GNS/FZJ.
- Demontage (238)  
Demontage von 7 Stück Bleizellen im Heißen Labor.

## 3. Geplante Weiterarbeit

- Konditionierung LAW (221, 231): Verbrennung, Einschmelzung FRG- und OH-Abfälle, HD-Verpressung, Durchführung der restlichen Konditionierungsarbeiten, Rückführung abgefertigter Gebinde, Datenübertragung, Dokumentation inkl. Fassgammascans, Mengenerhöhung;
- Betriebsabwässer (236): Abtransport betrieblicher Abwässer zur Konditionierung bei FZJ;
- OH-Brennstäbe (223): Verpackung und Transport;
- Konditionierung MAW (221, 231, 232): Datenzusammenstellung, Konzept- und Informationsbearbeitung, Koordinierung;
- Erstellung eines technischen Konzepts zum Transport und zur Konditionierung des OH-RDB unter Beachtung des Stands der Technik. Vorbereitende Arbeiten Stilllegung und Rückbau FRG (240);
- Längerfristige Zwischenlagerung, bauliche Maßnahmen (227, 237, 238, 239): Bereitstellung erforderlicher Infrastrukturmaßnahmen, Gewährleistung der sicheren Zwischenlagerung;

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

Keine.

## 5. Kosten

|                               |                        |
|-------------------------------|------------------------|
| Kosten bisher (seit 01/2002): | 22,8 Mio. €            |
| Kosten Berichtszeitraum:      | 2,9 Mio. €             |
| Zukünftige Kosten:            | 14,0 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>   | 📖 34 |
| <b>02 S 8011</b>   | Forschungsvorhaben zur Optimierung der Reststoffverwertung von Metallen. Weiterführende Untersuchungen (FORM III)   | <b>Siempelkamp Gieserei, Krefeld</b>                            | 📖 36 |
| <b>02 S 8021</b>   | Entwicklung von Beurteilungsmethoden für Transport- und Lagerbehälter mit erhöhten metallischen Reststoffanteilen - Abschließende Untersuchungen (EBER III)   | <b>Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin</b> | 📖 38 |
| <b>* 02 S 8223</b> | Inaktivierung von Mdm2 nach ionisierender Strahlung – Aufklärung der Signaltransduktionskette   | <b>Universität Karlsruhe (TH)</b>                               | 📖 40 |
| <b>* 02 S 8254</b> | Checkpoint Manipulation als Strategie für den Strahlenschutz und für die Strahlensensibilisierung von Säugetierzellen   | <b>Universitätsklinikum Essen</b>                               | 📖 42 |
| <b>02 S 8274</b>   | Fallversuche mit Brennelement-/HAW-Transport- und Lagerbehältern in Originalgröße   | <b>Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Berlin</b> | 📖 44 |
| <b>02 S 8294</b>   | Kontrolle biologischer Untersuchungen bei der Dekontamination heterogener, schwach radioaktiv kontaminierter Geosubstrate für die Strahlenschutzvorsorge  | <b>Friedrich-Schiller-Universität Jena</b>                      | 📖 46 |
| <b>02 S 8315</b>   | Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen   | <b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b>                            | 📖 48 |
| <b>02 S 8325</b>   | Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen   | <b>TU München</b>   | 📖 50 |
| <b>* 02 S 8335</b> | Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung   | <b>Technische Universität Darmstadt</b>                         | 📖 52 |
| <b>* 02 S 8345</b> | 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 | <b>Ludwig-Maximilians-Universität München</b>                   | 📖 54 |

- |             |  |   |      |
|-------------|--|---|------|
| * 02 S 8355 | Molekulare und zelluläre Wirkung dicht ionisierender Strahlen  | <b>Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Darmstadt</b> | 📖 56 |
| 02 S 8356   | Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abproduktkonditionierung  | <b>TU Dresden</b>   | 📖 58 |
| 02 S 8366   | Schutz durch Hochgeschwindigkeitsflammspritzschichten auf dickwandigen End- und Zwischenlagerteilen zur Reduktion von Reparaturen, Korrosion und Kosten -SHARK-  | <b>Siempelkamp Nukleartechnik, Krefeld</b>                  | 📖 60 |
| 02 S 8376   | Bestimmung von Endlager-relevanten, langlebigen Radionukliden mittels radiometrischer und spezieller massenspektrometrischer Verfahren   | <b>TU München</b>   | 📖 62 |
| 02 S 8396   | Untersuchungen zur Strahlenschutz-Vorsorge für radionuklidbelastetes Substrat: Mikrobieller Beitrag zur Bioakkumulation aus Bauschutt  | <b>Friedrich-Schiller Universität Jena</b>                  | 📖 64 |
| 02 S 8406   | Weiterentwicklung der Technologie Plasmaschneiden für nichtmetallische Materialien für den praktischen Einsatz beim Rückbau und der Zerlegung von Kernkraftwerksanlagen und Reaktoren sowie für den Katastrophenschutz | <b>SGE Spezialgeräteeentwicklung GmbH, Pirna</b>            | 📖 66 |
| * 02 S 8416 | Das Phänomen der Hyperradiosensitivität und deren Modulation durch den Radioprotektor Phosphotyrosin   | <b>Eberhard-Karls-Universität Tübingen</b>                  | 📖 68 |
| * 02 S 8427 | Genomische Instabilität durch Doppelstrangbrüche: Bedeutung des Singlestrand annealing   | <b>Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf</b>               | 📖 70 |
| 02 S 8437   | Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen  | <b>Leibniz Universität Hannover</b>                         | 📖 72 |
| 02 S 8447   | Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen  | <b>BÜDIAM Diamantwerkzeuge, Eschenburg</b>                  | 📖 74 |
| * 02 S 8457 | Untersuchung von epigenetischen Effekten nach Bestrahlung menschlicher Zellen  | <b>Ludwig-Maximilians-Universität München</b>               | 📖 76 |
| * 02 S 8467 | Regulationsmechanismen eukaryotischer DNA Replikation nach Bestrahlung   | <b>Universitätsklinikum Essen</b>                           | 📖 78 |
| * 02 S 8477 | Regulation der Nicht-homologen Endverknüpfung durch post-translationelle Modifikation  | <b>Universität Karlsruhe (TH)</b>                           | 📖 80 |

|                    |  |   |       |
|--------------------|--|---|-------|
| <b>02 S 8487</b>   | Konstruktion, Herstellung, Beschichtung, Prüfung und Handhabung langzeitstabiler Gebinde zur sicheren Lagerung von schwach- und mittlradioaktiven Abfällen   | <b>Leibniz Universität Hannover</b>   | 📖 82  |
| <b>* 02 S 8497</b> | Induktion und Transmission von genetischen Schäden nach Hoch-LET Bestrahlung: In vivo und in vitro Untersuchungen  | <b>Gesellschaft für Schwerionenfor-<br/>schung mbH,<br/>Darmstadt</b>               | 📖 84  |
| <b>02 S 8507</b>   | Verfahren zur selektiven Tritium-Extraktion aus wässrigen Abfalllösungen und langzeitstabilen Bindung auf einem Träger   | <b>TU München</b>   | 📖 86  |
| <b>02 S 8517</b>   | Uranaufnahme   | <b>Friedrich-Schiller-<br/>Universität Jena</b>                                     | 📖 88  |
| <b>02 S 8528</b>   | Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvor-<br>sorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanie-<br>rung mittels Phytoremediation und anschließende<br>Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHY-<br>TOREST)                   | <b>Friedrich-Schiller-<br/>Universität Jena</b>                                     | 📖 90  |
| <b>02 S 8538</b>   | Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvor-<br>sorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanie-<br>rung mittels Phytoremediation und anschließende<br>Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHY-<br>TOREST)                   | <b>TU Dresden</b>   | 📖 92  |
| <b>02 S 8548</b>   | Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter<br>Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie  | <b>Universität Karls-<br/>ruhe (TH)</b>   | 📖 94  |
| <b>02 S 8558</b>   | Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter<br>Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie  | <b>TU Dresden</b>   | 📖 96  |
| <b>02 S 8578</b>   | Strahlenschutzaspekte bei der Auswahl von Abbau-<br>und Dekontaminationstechniken  | <b>GRS Köln</b>   | 📖 98  |
| <b>02 S 8588</b>   | Handhabungs- und Transportkonzepte zur Entsorgung<br>radioaktiver Reststoffe aus Stilllegung und Rückbau:<br>Entwicklung rechnerischer Analysemethoden für<br>stoßdämpfende Strukturen beim Anprall oder Absturz<br>von Abfallgebinden (ENREA) | <b>Bundesanstalt für<br/>Materialforschung<br/>und -prüfung, Ber-<br/>lin</b>       | 📖 100 |
| <b>02 S 8598</b>   | Qualifikation und Erprobung von stoßdämpfenden<br>Strukturen und Materialien zur Optimie-<br>rung/Reduzierung der Beanspruchung von Verpa-<br>ckungen zur Entsorgung radioaktiver Reststoffe aus<br>Stilllegung und Rückbau (QUEST)            | <b>WTI Wissenschaft-<br/>lich-Technische<br/>Ingenieurberatung<br/>GmbH, Jülich</b> | 📖 102 |

**\* Strahlenforschungsvorhaben**





## **2.2 Formalisierte Zwischenberichte**

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>TU München, Arcisstraße 21, 80333 München                                     |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 7951</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Entsorgung von Beryllium / Berylliumoxid und Cadmium aus Forschungsreaktoren |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen                            |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.09.2001 bis 30.06.2009  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>1.851.182,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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. Validierung der Tritium-Freisetzung durch Messungen des mit allen Be-Reflektoren beladenen Behälters.
8. Ergänzende Modell-Rechnungen zum Temperaturverlauf im Behälter.
9. Durchführung von vergleichenden Löslichkeitsuntersuchungen an unbestrahltem und an bestrahltem Beryllium.

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

Die Trocknung des ausgewählten Transport- und Lagerbehälters, der mit den 24 Beryllium-Reflektorelementen des FRM I beladen wurde, ist abgeschlossen. Die Messungen zur Validierung der Tritium-Freisetzung aus dem beladenen Transport- und Lagerbehälter wurden begonnen. Die ersten Messungen zeigten, dass die im Labor an kleinen Beryllium-Proben ermittelten Freisetzungsraten die reale Situation deutlich überschätzen und als konservativ angesehen werden können. Dies lässt sich u. a. auf die wesentlich größere spezifische Oberfläche der im Labor untersuchten Proben zurückführen.

Die Ende April 2008 gestarteten umfassenden Langzeit-Löslichkeitsexperimente zum Vergleich von bestrahltem und unbestrahltem Be wurden bis Mitte Dezember weitergeführt, d. h. das Verhalten von metallischem Beryllium kann in 3 ausgewählten, für die Endlagerung relevanten Salzlaugen sowie bei 3 Temperaturen über einen Zeitraum von 8,5 Monaten charakterisiert werden. Parallel zur gelösten Be-Menge wurde bei bestrahltem Be jeweils noch die freigesetzte Gesamtaktivität gemessen. Des Weiteren wurde in ausgewählten Proben des Langzeitexperiments nach dessen Abschluss der pH-Wert gemessen, welcher für die Interpretation der Befunde u. U. relevant sein könnte.

Die Daten liegen komplett vor und werden derzeit ausgewertet. Die chemischen Vorgänge sollen nach Möglichkeit interpretiert und bewertet werden. Die Ergebnisse zum Verhalten von metallischem Be in den untersuchten Salzlaugen werden in einem separaten Abschlussbericht zusammengefasst werden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Hinsichtlich der chemischen Vorgänge in den untersuchten Salzlaugen, also dem korrosiven Verhalten von metallischem Be, müssen noch einige Aspekte geklärt werden, sollte man an detaillierteren Aussagen interessiert sein. So wären z. B. noch physikalisch-chemische Untersuchungen zu Redoxpotentialänderungen denkbar (Aufstellung so genannter Pourbaix-Diagramme in den untersuchten Salzlaugen), die sämtlich inaktiv durchgeführt werden können und sollen.

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

Für die Ergebnisse zu den Langzeit-Löslichkeitsuntersuchungen sind eine Publikation in einem geeigneten Medium sowie eine mündliche Präsentation beim GDCh Wissenschaftsforum 2009 angedacht.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Siempelkamp Giesserei GmbH, Siempelkampstraße 45, 47803 Krefeld  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8011</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Forschungsvorhaben zur Optimierung der Reststoffverwertung von Metallen. Weiterführende Untersuchungen (FORM III) |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2001 bis 31.12.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>1.609.850,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dipl.-Ing. Mikoleizik        |   |

## 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) werden die bei Reststoffverwertung erzielten Werkstoffeigenschaften denjenigen von duktilem Gusseisen angenähert. Insbesondere wird auf eine höhere Bruchzähigkeit hingearbeitet. 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 mit diesen Hohlprofilen gezielt bis zum Versagen durchgeführt. Zylindrische Gussbehälter und Gusscontainer Typ VII ohne und mit künstlichen Kerben werden in Fallversuchen nach Anforderungen der ABK II geprüft.

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. Einfluss von Kerben auf Bruchzähigkeit.
- II. Bruchmechanische Werkstoffbewertung unter Störfallbedingung. Fertigung 2 Behälter-Dummies (Hohlprofile) aus FORM-Werkstoff für Probennahme. Ermittlung Werkstoffkennwerte.
- 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 Prüfung nicht gekerbter und gekerbter Hohlprofile: Bestimmung der Beanspruchung bei Rissinitiierung.
- V. Weiterentwicklung GJS-Werkstoff mit erhöhtem Reststoffanteil hinsichtlich höherer Duktilität und Bruchzähigkeit.
- VI. Fertigung und mechanische Prüfung nicht gekerbter und gekerbter kubischer Gusscontainer und zylindrischer Gussbehälter. Fallprüfungen unter Endlagerbedingung. Nachuntersuchung auf Rissinitiierung und Materialeigenschaften im Stück.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Nach der erfolgreichen ersten Fallprüfung des zylindrischen Gussbehälters FORM III-2007 wurde im Berichtszeitraum die zweite Fallprüfung vorbereitet und durchgeführt. Die Nachuntersuchung nach der ersten Fallprüfung zeigte, dass es keine Beschädigungen gab. Für die zweite Fallprüfung erhielt der Behälter einen mechanisch eingebrachten Kerb. Mit einem Kerbgrundradius von  $<0,1$  mm ist die Bruchzähigkeit im Bauteil nicht höher als für eine angeschwungene Laborprobe. Die Höhe der maximalen Spannung von 195 MPa, auf die die Kerbgröße auszulegen war, war aus den Messwerten der BAM in der ersten Fallprüfung bekannt. Eine statistische Auswertung vorangegangener bruchmechanischer Untersuchungen an Materialien aus baugleichen Referenzbehältern ergab eine dynamische Bruchzähigkeit von  $48 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$  bei der Prüftemperatur  $-20$  °C. Unter Ansatz eines Sicherheitsfaktors hat damit ein Kerb von kritischer Größe eine Tiefe von 18 mm. Ein Kerb mit dieser Tiefe wurde an der Stelle der höchsten Spannungen eingebracht.
- Der Behälter wurde für die Durchführung der Fallprüfung an die BAM übergeben. Die Randbedingungen für die zweite Fallprüfung blieben unverändert: Mantellinienfall, Prüftemperatur  $-20$  °C, Fallhöhe 0,96 m, Betonplatte von 300 mm Dicke auf IAEA Fundament. Die Durchführung der Fallprüfung war erfolgreich.
- Der Behälter blieb unbeschädigt. Er wurde für Nachuntersuchungen zerlegt. Schliffe am Kerbgrund zeigten, dass keine Rissinitiierung auftrat. Die Werkstoffkennwerte aus Zug- und Schlißproben stimmen mit denjenigen des zuvor erprobten Referenzbehälters gut überein. Für die bruchmechanische Erprobung nach der K-Methode wurden Großproben entnommen und an ein Prüflabor übergeben. Außer der Überprüfung der Übereinstimmung auch dieses Werkstoffkennwerts mit den Daten des Referenzbehälters soll damit auch die Datenbasis verbreitert werden.
- Auch der kubische Gusscontainer FORM III-2007 wurde nach seiner zweiten Fallprüfung im 1. Halbjahr 2008 für Nachuntersuchungen zerlegt. Die Werkstoffkennwerte der Zug- und Schlißproben stimmen gut mit denjenigen des Referenzcontainers FORM III-2006 überein. An der einen zwischenzeitlich fertigungsoptimierten Stelle sind erwartungsgemäß bessere Kennwerte als zuvor ermittelt worden. Das Gefüge ist feinkörnig und weitgehend ferritisch. Der Zugversuch zeigt hohe Dehnungen. An dieser Stelle wurden Kerbschlagbiegeproben entnommen, an denen die dynamische Bruchzähigkeit mittels einer Risswiderstandskurve bestimmt wird. Damit wird für die Stelle der höchsten im Fallversuch gemessenen Spannungen auch noch die Bruchzähigkeit bekannt sein.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Abschluss der Beprobung und Nachuntersuchungen von zylindrischem Gussbehälter und kubischem Gusscontainer nach den jeweils 2 Fallprüfungen. Hierbei wird besonderer Wert gelegt auf den Vergleich der Werkstoffkennwerte mit den zuvor untersuchten Referenzkörpern. Insbesondere sind noch die bruchmechanischen Kennwerte der beiden Prüfmuster zu untersuchen.
- Anfertigung des Abschlussberichts.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8021</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Entwicklung von Beurteilungsmethoden für Transport- und Lagerbehälter mit erhöhten metallischen Reststoffanteilen - Abschließende Untersuchungen (EBER III) |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2001 bis 31.12.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>652.714,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 (02S7584) und EBER II (02S7788) 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 02S8011.

## 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 zylindrischen Gussbehälter Typ FORM III-2007 mit künstlichem Fehler und der Abwurfposition plan auf die Mantellinie. Sowohl die Dehnungsmessungen als auch die numerischen Nachberechnungen der im Rahmen des Vorhabens bereits durchgeführten Versuche hatten gezeigt, dass der Kerb beim Fallversuch mit dem zylindrischen Gussbehälter Typ FORM III-04 am 29.09.2005 nicht am Ort der höchsten Beanspruchung eingebracht worden war. Auf der Grundlage des von der BAM numerisch berechneten Spannungsverlaufes am Ort der höchsten Beanspruchung für den Fall aus 0,96 m Höhe (Auftrefflinie, unmittelbar neben dem Deckel) sowie der im Parallelvorhaben FORM III (FKZ 02 S 8011) ermittelten dynamischen bruchmechanischen Kennwerte von Proben aus einem Zwilling des Testbehälters wurden durch den Behälterkonstrukteur und den Behälterhersteller in Abstimmung mit der BAM die Abmessungen des einzubringenden künstlichen Werkstofffehlers als Kerb mit einer Tiefe von 18 mm und einer Länge von 135 mm festgelegt.
- Die Maße der mit einer Schicht aus Schnellbindemörtel an das Versuchsstandfundament angekoppelten Fertigteil-Betonplatte blieben mit 2,8 m x 2,4 m x 0,3 m ebenso wie die Betonmischung unverändert. Eine Verstärkung wie beim Fundament für die im Rahmen des Vorhabens ebenfalls durchgeführten Falltests mit einem 20 Mg schweren Gusscontainer war hier nicht erforderlich. Abgesehen von lokalen Einprägungen blieb die Integrität der Platte erhalten, sodass die Anforderungen aus den Endlagerungsbedingungen für die Schachanlage Konrad beim Fallversuch erfüllt waren. Der auf -20 °C gekühlte Behälter hatte eine Masse von 5,12 Mg und wurde aus einer Höhe von 0,96 m abgeworfen.
- Der Behälter war mit 20 Dehnungsmessstreifen, 2 Beschleunigungsaufnehmern und 4 Temperatursensoren instrumentiert. Die Versuchsergebnisse wurden erfolgreich erfasst und dokumentiert. Am Behälter entstand kein äußerlich erkennbarer Schaden. Eine detaillierte Nachuntersuchung des Behälters ist Teil des Parallelvorhabens FORM III (FKZ 02 S 8011). Von besonderem Interesse sind hierbei die Untersuchungsergebnisse am Kerbgrund, die Aufschluss über eine mögliche Rissinitiierung liefern.
- Unmittelbar nach Durchführung des Falltests wurde, wie bereits bei den vorangegangenen Versuchen, ein externes Prüflabor beauftragt, anhand dreier Bohrkerne aus der beim Fallversuch mit dem Gussbehälter verwendeten Betonplatte die tatsächlich vorliegende Betondruckfestigkeit zu ermitteln. Die in den oben genannten Endlagerungsbedingungen definierte Betonqualität B35 wurde erreicht.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Weitere Auswertung und Aufbereitung der Messergebnisse des Fallversuchs mit dem Gussbehälter.
- Erstellung des Abschlussberichts.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Zencker, U., Weber, M., Qiao, L., Droste, B.: Beurteilungsmethoden für Transport- und Lagerbehälter mit erhöhten metallischen Reststoffanteilen – Behälterbruchsicherheitsuntersuchungen und Entwicklung eines KONRAD-Referenzprüfstandfundamentes, Tagungsband 9. Intern. Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ (KON-TEC 2009), Dresden, 15.-17. April 2009.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe                                   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8223</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Inaktivierung von Mdm2 nach ionisierender Strahlung – Aufklärung der Signaltransduktionskette |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>                  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.06.2003 bis 31.07.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.07.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>347.892,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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.

### Wissenschaftliche 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.

## 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**

Die Dokumentation der Ergebnisse wurde abgeschlossen und die Daten zur Anfertigung des Abschlussberichtes vorbereitet. Außerdem wurde ein „Perspectives“-Artikel für die Zeitschrift Cell Cycle angefertigt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Anfertigung des Abschlussberichts.

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

Blattner C. 2008. Regulation of p53 – the next generation. Cell cycle 7:20, 3149-3153.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität Duisburg-Essen, Universitätsklinikum Essen, Hufelandstraße 55, 45147 Essen                                 |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8254</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Checkpoint Manipulation als Strategie für den Strahlenschutz und für die Strahlensensibilisierung von Säugetierzellen |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2004 bis 31.07.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.07.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>361.512,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Iliakis            |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

### Einzelziele:

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

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

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

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

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

Im letzten Monat der Finanzierungsperiode dieses Projektes wurden die Experimente der vorangegangenen Periode weitergeführt. Im Einzelnen wurden folgende Aspekte behandelt:

- Die Aktivierung der ATR-Chk1 Signalwege wurde weiter untersucht und seine Rolle im G2-Checkpoint analysiert.
- Die Messungen der Doppelstrangbruchreparatur über die Analyse von ATM-pS1981 Foci wurden weitergeführt und im Zellzyklus wie auch nach Zellteilung analysiert.
- Die in der Gesamtperiode gewonnenen Daten wurden organisiert und kritisch analysiert. Sie werden im Moment in Form von Manuskripten organisiert.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Das Projekt endete zum 31.07.2008.

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

Eine Veröffentlichung wird zurzeit vorbereitet.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8274</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Fallversuche mit Brennelement-/HAW-Transport- und Lagerbehältern in Originalgröße        |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2004 bis 31.12.2008  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>505.736,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Droste                   |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- I. Versuchsplanung und Vorbereitung
- II. Versuchsdurchführung
- III. Erweiterte Versuchsauswertung
- IV. Berechnung von Versuchsauswirkungen
- V. Vergleich von gemessenen und berechneten Behälterbeanspruchungen
- VI. Ermittlung von Stoßdämpfermaterialgesetzen
- VII. Kooperation mit U.S. NRC

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Durchführung dynamischer Kompressionsversuche im Prüfstand für geführte Fallversuche
- Auswertung und Abschluss von dynamischen Kompressionsversuchen mit Stoßdämpferholzproben
- Konstruktion einer Temperierhaube am Prüfstand für geführte Fallversuche
- Abschluss des Teilberichtes „CONSTOR® VTC“
- Abschluss der Untersuchungen zur Anwendbarkeit verschiedener Materialgesetze für Fichtenholz und der Anwendbarkeit verschiedener Modellierungsformen für Stoß dämpfende Bauteile
- Kooperation zwischen BAM und U.S. NRC auf dem Gebiet der Sicherheitsbeurteilung von Brennelementtransport- und Lagerbehältern im Modell- und Originalmaßstab: Fortführung des Austauschs und Vergleichs von Versuchs- und Berechnungsergebnissen

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung eines Abschlussberichts zum Forschungsvorhaben.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Neumann, M., Wille, F., Ballheimer, V.: Approximation of package deceleration and shock absorber deformation under 9 m drop test conditions using simplified numerical tool ImpactCalc. Packaging, Transport, Storage & Security of Radioactive Material, Vol. 19, 2008, No.1, pp.35 – 40 (6)
- Neumann, M., Wille, F., Droste, B.: Scale model impact limiter in type assessment of radioactive material transport packages. Packaging, Transport, Storage & Security of Radioactive Material, Vol. 19, 2008, No.1, pp.53 – 57 (5)
- Neumann, M., Wille, F.: Simulation of the Crushing of Wood Filled Impact Limiters for Packages of Radioactive Material. 9th International Conference on Computational Structures Technology, September 2-5, 2008, Athens, Greece (Proceedings), Paper 22, pp.1 – 21 (21)
- Quercetti, T., Müller, K., Schubert, S.: Comparison of experimental results from drop testing of a spent fuel package design using a full-scale prototype model and a reduced-scale model. Packaging, Transport, Storage & Security of Radioactive Material, Vol. 19, 2008, No.4, pp.197 – 202 (5)
- Müller, K., Melnik, N., Quercetti, T., Droste, B.: Impact target characterisation of BAM Drop Test Facility. Packaging, Transport, Storage & Security of Radioactive Material, Vol. 19, 2008, No.4, pp.217 – 221(5)
- Musolff, A., Müller K., Neumann, M., Kadji, A., Droste, B.: Results of full scale CONSTOR® V/TC prototype 9 m horizontal drop test. Packaging, Transport, Storage & Security of Radioactive Material, Vol. 19, 2008, No.4, pp.228 – 232 (5)

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8294</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Kontrolle biologischer Untersuchungen bei der Dekontamination heterogener, schwach radioaktiv kontaminierter Geosubstrate für die Strahlenschutzvorsorge (KOBIOGEO) |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2004 bis 31.10.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.10.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>616.671,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>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 dem Testfeld werden ausgewählte Pflanzen angebaut und nach definierten Zeiträumen zu Analysezwecken geerntet. Daneben werden diverse Größen der klimatischen Wasserbilanz, der Hydrogeologie und der Hydrochemie ermittelt und Probenmaterial (Grundwasser, Sickerwasser, Bodenproben) für Analysezwecke gewonnen.

### 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. Mittels Lysoimeterversuchen werden die Transferfaktoren für  $^{90}\text{Sr}$  und  $^{137}\text{Cs}$  an Substraten des Freigeländes des VKTA Rossendorf untersucht.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### Laborarbeiten:

Die Laborexperimente wurden in Form von Batch-Ansätzen mit kontrollierten Lösungen (Mn/SEE) und verschiedenen Stämmen, zur Untersuchung des Freisetzungspotentials, durchgeführt. Die Analyseergebnisse und Erkenntnisse werden derzeit in den Abschlussbericht eingearbeitet. Die mikrobiologischen Untersuchungen (Identifizierung eines in Batchversuchen dominanten, autochthonen Stammes) wurden ebenso abgeschlossen.

#### Feldarbeiten:

Auf dem Testfeld Gessenwiese wurden die Pflanzversuche der Vegetationsperiode 2008 zum Abschluss gebracht. Das bedeutet im Einzelnen: Ernte der Pflanzen (Sonnenblume; *Helianthus annuus*), Bestimmung der Biomasse, der Individuenzahl und des Pflanzenwachstums, sowie Totalaufschlüsse des Pflanzenmaterials zur Bestimmung der Schwermetall- und Radionuklidaufnahme in die Pflanzenkompartimente.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Erstellung des Abschlussberichtes und des Verwendungsnachweises bis 30.04.2009.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

DIMKPA, C., SVATOŠ, A., MERTEN, D., BÜCHEL, G. & KOTHE, E. (2008): Hydroxamate siderophores produced by *Streptomyces acidiscabies* E13 bind nickel and promote growth in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under nickel stress. - CAN. J. MICROBIOL. 54, 163-172

GRAWUNDER, A., LONSCHINSKI, M., MERTEN, D., BÜCHEL, G. (2009): Distribution and bonding of residual contamination in the glacial sediments at the former uranium mining leaching heap of Gessen/Thuringia, Germany. - CHEM. ERDE 69 S2, 5-19

NEAGOE, A., MERTEN, D., IORDACHE, V., BÜCHEL, G. (2009): The effect of bioremediation methods involving different degrees of soil disturbance on the export of metals by leaching and by plant uptake. - CHEM. ERDE 69 S2, 57-73

SCHMIDT, A., HAFERBURG, G., SCHMIDT, A., LISCHKE, U., MERTEN, D., GHERGEL, F., BÜCHEL, G., KOTHE, E. (2009): Heavy metal resistance to the extreme: *Streptomyces* strains from a former uranium mining area. - CHEM. ERDE. 69 S 235-44

HOPF, J., LANGENHORST, F., POLLOK, K., MERTEN, D., KOTHE, E. (2009): Influence of microorganisms on biotite dissolution: an experimental approach. CHEM. ERDE 69 S2, 45-56

Burkhardt, E.-M., Meißner, S., Merten, D., Büchel, G., Küsel, K., (2009) Heavy metal retention and microbial activities in geochemical barriers formed in glacial sediments subjacent to a former uranium mining leaching heap. CHEM. ERDE 69 S2, 21-34

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Str.,<br>52428 Jülich  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8315</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>90.502,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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 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 Amplituden der numerischen Schwingungen des ART-Algorithmus konnten durch die Implementierung von verschiedenen Relaxationsverfahren zwar reduziert aber nicht vollständig eliminiert werden. Hierdurch wird die numerische Interpretation der Ergebnisse unmöglich. Es zeigten sich allerdings während der Testphase Lösungen durch die Zerlegung der modellierten Objekte in Teilobjekte auf. Die Linearkombination der Teilergebnisse sollte die angemessene Interpretation von Oberflächenzählratenverteilungen von Gamma-Scans zulassen. Da bisher noch keine Alternative veröffentlicht wurde, wird dieser Ansatz außerhalb des auslaufenden Projektes weiter verfolgt. Die Ergebnisse zeigen erneut, dass die Methoden des horizontal bzw. swivel scanning zur validen Quantifizierung von inhomogenen Aktivitätsverteilungen vorzuziehen sind, allerdings ist der apparative Aufwand sehr hoch.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Arbeiten sind abgeschlossen.

Daher stehen nur die Dokumentation und der Abschlussbericht noch aus.

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

SWGgamma - A versatile tool for NDA of radioactive waste packages, 11. Meeting of Working Group A, European Network of Testing Facilities for Radioactive Waste Packages (EN-TRAP), 26. - 27. März 2008, Rez, Tschechische Republik.

SWGgamma - Ein universelles Hilfsmittel für Kalibration, Simulation und Auswertung, 5. Workshop RCA, Radiochemische Analytik bei Betrieb und Rückbau kerntechnischer Anlagen, der Deklaration von Abfällen und im Strahlenschutz, 16. - 17. Juni 2008, Dresden.

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München  |  | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8325</b>         |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |  |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2005 bis 31.12.2008   |  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>210.498,00 EUR  |  | <b>Projektleiter:</b><br>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:

AP1: Optimierung und Erweiterung der bereits entwickelten Analysealgorithmen.

AP2: Erweiterung und Verbesserung des den Simulationen zugrunde liegenden Objektmodells.

AP3: Verbesserte Einbindung von Messdaten und weiterer Informationen.

AP4: Flexibilisierung des Analyseverfahrens.

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

Im letzten Halbjahr wurden alle noch ausstehenden Arbeiten weitestgehend abgeschlossen. Hierzu zählten u. a. die Optimierung und Durchführung weiterer Tests des Analysemoduls sowie seiner endgültigen Einbindung in die Oberfläche von SWGamma, die Zusammenfassung und Darstellung der Analyseergebnisse in Form einer html-Datei, die Durchführung von Verifikationsmessungen sowie die Fortführung der Arbeiten an der Dokumentation.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die abschließenden Arbeiten des Projekts bestehen in der Fertigstellung des Abschlussberichts, der html-Dateien der Hilfefunktion sowie der Zusammenstellung der Ergebnisse der Verifikationsmessungen und kleineren Optimierungen an der Software.

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

Keine.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt           |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8335</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung                  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i> |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2005 bis 30.10.2010  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>496.151,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Löbrich            |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat zum Ziel, eine auf mechanistischer Grundlage basierende Abschätzung der Gefährdung durch niedrige 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

#### AP3: DSB-Reparatur im Mausmodell nach niedrigen Dosen ionisierender Strahlung

Frühere Studien in der Zellkultur hatten gezeigt, dass Zellen nach niedrigen Dosen Röntgenstrahlung über mehrere Tage hinweg  $\gamma$ H2AX-Foci aufweisen, die einen Marker für unreparierte DSBs darstellen. Dies deutete auf ein eingeschränktes Reparaturvermögen bei einer niedrigen Anzahl an induzierten DSBs hin. Um zu untersuchen, ob diese Effekte auch im lebenden Organismus auftreten, war in Zusammenarbeit mit der Klinik für Strahlentherapie an der Universität des Saarlandes die Methode der  $\gamma$ H2AX-Immunfluoreszenzmikroskopie im Mausmodell etabliert worden (1). Es wurden Reparaturkinetiken für verschiedene Organgewebe nach Bestrahlung mit niedrigen Dosen (10 mGy, 100 mGy) erstellt und mit denen nach einer Dosis von 1 Gy verglichen. Die verschiedenen Gewebe zeigten bei allen Dosen ein nahezu identisches Reparaturverhalten. Während nach 1 Gy die DSBs sehr effizient repariert wurden, zeigten die mit 100 mGy bestrahlten Gewebe eine geringfügig langsamere DSB-Reparatur. Nach einer Bestrahlung mit 10 mGy blieben dagegen auch nach einer Reparaturzeit von einem Tag ~60-80 % der induzierten Brüche unrepariert. Um einen weiteren von  $\gamma$ H2AX unabhängigen Marker für die Detektion von DSBs zu haben, wurde die Färbung von dem an DSBs akkumulierenden 53BP1-Protein etabliert. Reparaturkinetiken, die anhand von 53BP1-Foci in den verschiedenen Geweben erstellt wurden, bestätigten die mittels  $\gamma$ H2AX-Immunfluoreszenzmikroskopie gewonnenen Ergebnisse. Es konnte somit gezeigt werden, dass das *in vitro* beobachtete eingeschränkte Reparaturvermögen nach niedrigen Dosen auch *in vivo* auftritt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### AP3: DSB-Reparatur im Mausmodell nach niedrigen Dosen ionisierender Strahlung

Die früheren *in vitro*-Studien zeigten, dass das Niveau an unreparierten Brüchen erst abnahm, wenn der Zellkultur die Möglichkeit zur Proliferation gegeben wurde. Im lebenden Organismus werden die Zellen verschiedener Gewebe teilweise durch Zellteilung erneuert. Um zu untersuchen, ob die nach einem Tag unrepariert verbliebenen DSBs über einen längeren Zeitraum im Gewebe erhalten bleiben oder eliminiert werden, sollen die *in vivo*-Reparaturstudien auf mehrere Tage ausgedehnt werden.

#### AP4: Checkpoint-Messung in lebenden Zellen

Anhand der Lebendzellmikroskopie und durch verschiedene Ansätze in der Zellkultur soll das Einsetzen des G1-Checkpoints in Bezug auf seine Empfindlichkeit genauer charakterisiert werden. In früheren Studien zur Regulation des G2-Checkpoints wurde gezeigt, dass dieser aufgehoben wird, bevor die Zelle alle DSBs repariert hat. Nun soll untersucht werden, ob dies auch für den G1-Checkpoint der Fall ist.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Rübe, C., Grudzenski, S., Kühne, M., Dong, X., Rief, N., Löbrich, M. and Rübe, C. (2008), *Clin Cancer Res*, 14(20): 6546-55.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Ludwig-Maximilians-Universität München, Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 München   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8345</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>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><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2005 bis 31.12.2008  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>300.930,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>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

- AP1: Auswahl und molekulare sowie zytogenetische Charakterisierung einer geeigneten telomerase-immortalisierten humanen Zelllinie
- AP2: Herstellung und Charakterisierung abgeleiteter Tochterzelllinien durch Integration von neuen Vektorsubstraten, die parallel die qualitative und quantitative Analyse von HR und NHEJ ermöglichen
- AP3: 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
- AP4: Spezifische Ausschaltung von Genen für die eine Funktion bei der Regulation von DSB-Reparaturwegen postuliert wird
- AP5: 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

#### AP5: Rolle von UBC13 für die Reparatur von DNA Doppelstrangbrüchen

yUBC13 spielt in Hefe eine wichtige Rolle bei der Regulation der DNA Doppelstrangbruch (DSB) Reparatur. Wir haben hUBC13 mittels RNAi effizient herunterreguliert und den Einfluss des Proteins mit unseren etablierten Assays untersucht. Wir konnten keine Unterschiede zwischen Kontrollzellen und UBC13 depletierten Zellen bezüglich der Strangstrangbruch-Reparaturkapazität (γH2AX-Foci für Doppelstrangbrüche, Comet-Assay für SSB und DSB) feststellen. Auch die spontane Rekombinationshäufigkeit (pDSon) ist nach knockdown von UBC13 nicht verändert. Weiterhin zeigten UBC13 depletierte Zellen keine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber ionisierender Strahlung oder eine verändertes Mutationsverhalten. Diese Ergebnisse zeigen, dass hUBC13 keine wesentliche Rolle in der DNA Doppelstrangbruchprozessierung spielt und sich in seinen Funktionen deutlich von yUBC13 unterscheidet. Andererseits konnten wir eine neue Rolle von hUBC13 in der UV-induzierten Apoptose nachweisen.

#### AP5: Rolle von NBS1 in der Basenexcisionsreparatur (BER)

Sowohl für Säugerzellen als auch für das Modellsystem Hefe konnten wir zeigen, dass der gesamte Komplex aus Rad50-Mre11-Nbs1(Xrs2) für die effiziente Reparatur von DNA Basenschäden nötig ist. Dazu passend führt die Deletion von einzelnen Komplexpartnern zu einer erhöhten Empfindlichkeit gegenüber den Basenschäden-induzierenden Agentien H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> und MMS. Die Analyse von Mehrfachmutanten in Hefe ergab, dass die Funktion von Xrs2 in der BER im long patch- und im short patch-subpathway erforderlich ist. Eine genauere Charakterisierung findet derzeit statt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Projekt endete am 31.12.2008.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Sagan D, Müller R, Kröger C, Hematulin A, Mörtl S, Eckardt-Schupp F.: **The DNA repair protein NBS1 influences the base excision repair pathway.** Carcinogenesis. 2009 Jan 6. [Epub ahead of print]

Hematulin, A., Sagan, D., Eckardt-Schupp, F., Mörtl, S. (2008): **NBS1 is required for IGF-1 induced cellular proliferation through the Ras/Raf/MEK/ERK cascade.** Cell Signal. 2008 Dec; 20(12):2276-85. Epub 2008 Aug 28

Vortrag: S. Mörtl - **NBS1 is important for efficient IGF-1 growth factor signalling** –; 11. Jahrestagung der Gesellschaft für Biologische Strahlenforschung, Tübingen 6-8.10.2008

Poster: Ahne F., S. Steininger, S.Mörtl, F.Eckardt-Schupp, **XRS2 protein of S.cerevisiae is involved in DNA base excision repair** - 11. Jahrestagung der Gesellschaft für Biologische Strahlenforschung, Tübingen 6-8.10.2008

Poster: M. Angermeier, F. Eckardt-Schupp, S. Mörtl, **hUBC13 plays an important role in UV-induced apoptosis** - 16th Euroconference on Apoptosis, 6.9.-10.9.2008 Bern, Switzerland.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Planckstraße<br>1, 64291 Darmstadt |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 S 8355</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Molekulare und zelluläre Wirkung dicht ionisierender Strahlen                    |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>     |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2006 bis 31.07.2010  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>2.189.464,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Kraft              |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Wissenschaftliche Forschungsziele sind molekular-, zell-, gewebe- und populationsrelevante Grundlagenforschung mit dicht ionisierender Strahlung, um die Mechanismen der Strahlenwirkung aufzuklären und den Strahlenschutz zu erweitern. Die Risikofaktoren ionisierender Strahlung sollen präzisiert werden, um auf der biomedizintechnischen Seite die Methoden der Strahlentherapie in der Tumormedizin und der Behandlung entzündlicher Prozesse weiter zu entwickeln.

Für diese Arbeiten werden zwei Arbeitsgruppen an der TUD eingerichtet, die thematisch sowohl in die Forschung der TUD als auch der GSI integriert sind. Um methodisch den höchsten Stand der Wissenschaft zu halten, ist eine enge Zusammenarbeit mit den vorhandenen Lehrstühlen der TUD geplant. Dazu gehört auch die Vertretung des neuen Gebiets in der Lehre, d. h. in Vorlesungen und in Praktika, sowie die Betreuung von Diplom- und Doktorarbeiten. Eine enge Zusammenarbeit mit der Bionik und der Physik sowie der Biotechnologie der FH ist auch in der Studentenausbildung geplant. Langfristig wird angestrebt, einen Studiengang Biophysik/Strahlenbiologie anzubieten.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Schwerpunkte der Forschungsvorhaben an der GSI sind folgende Untersuchungen:

- primäre Strahlen-induzierte DNA-Veränderungen (Strahlplatz Mikroskopie) und komplexe Ionen-induzierte DNA-Schäden, Reparatur- und Signalübertragung,
- Zelluläre Strahlenreaktion: Proteinbiochemie, Zellzyklusanalyse und Zelltod (RBW)
- Experimente am Mikrostrahl zur Wirkung kleiner Dosen

An der TUD sind folgende Schwerpunkte geplant:

- Erweiterung der Strahlenarten (Alpha-Teilchen)
- Strahlenwirkung Niedrigdosisbereich / Biomarker Strahlenschutz
- Reparatur / Zelluläre Strahlenwirkung / Membran/Signalübertragung / Gewebeeffekte
- Regeneration

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zu Beginn des Berichtszeitraums wurden die Forschungstätigkeiten der Arbeitsgruppe „Molekulare Strahlenbiologie“ im neuen Laborgebäude aufgenommen und mehrere Forschungspraktikanten, Diplom und Doktorarbeiten betreut. Zwei Diplomarbeiten sind bereits abgeschlossen. Im WS08/09 wurde eine Vorlesung „Molekulare Strahlenbiologie“ sowie die Seminare „DNA-Reparatur“ und „Klinische Strahlenbiologie“ angeboten.

Die Arbeitsgruppe „Molekulare Strahlenbiologie“ untersuchte die Regulation des G2/M-Checkpoints nach Bestrahlung mit Kohlenstoffionen. Dazu wurden die Messmethoden an die GSI Bestrahlungseinrichtung angepasst und eine immunfluoreszenzmikroskopische Methode zur Messung des mitotischen



Index etabliert. Erste Experimente zeigten, dass bereits ein Kohlenstoff-Ion ausreicht, die Regulation zu beeinflussen.

In einem weiteren Projekt wurde der Nachweis von  $\gamma$ H2AX benutzt, welcher die Visualisierung eines einzelnen Bruches in Form eines Focusses ermöglicht, um die Reparatur komplexer Brüche nach physiologischen Dosen auf Einzelzellebene zu untersuchen (2). Erste Testexperimente mit Wildtyp- und Artemis-Zellen bestätigten die aus vorherigen Experimenten nach Röntgenstrahlung sowie bei höheren Teilchen-Dosen gewonnenen Ergebnisse der Reparatur-relevanten Rolle der Nuklease Artemis.

Die zweite TUD Arbeitsgruppe „Molekulare Zellbiologie“ bezog Ende Oktober die Laborräume im Fachbereich Biologie. Obwohl der Umbau noch nicht abgeschlossen ist, wurden im SS08 als auch im WS08/09 Studentenpraktika und die Vorlesung „Zellbiologie“ durchgeführt. Es wurden zwei Mitarbeiter zum 1. Januar 2009 eingestellt. Mit der Biophysik der GSI wurde eine Kooperation begonnen, zu der die TUD Zellbiologie Materialien (Zellzyklusmarker, Antikörper und Konstrukte) sowie Kompetenz beisteuern konnten. Ebenfalls wurden regelmäßige gemeinsame Gruppenseminare installiert, um die Forschungstätigkeit der Abteilungen zu koordinieren und zu konzentrieren. Es wurden auch gemeinsame Mitarbeiter eingestellt.

Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der Interaktion zwischen Chromatinorganisation, DNA Schadensinduktion, sowie Reparatur. Unsere bisherigen Ergebnisse zu diesen Fragestellungen beruhen auf der Verwendung von nichtionisierender Strahlung, hauptsächlich Laser-mikrostrahlen, welche nun mit der ionisierenden Strahlung verglichen wird. Darüber hinaus verfolgen wir die Interaktion zwischen Zellzyklusdynamik und DNA Reparatur sowie die generelle Dynamik von Replikations- und Reparaturfaktoren (4,5).

Um einen direkten Vergleich zwischen ionisierender und nichtionisierender Strahlenqualität zu ermöglichen wurden deshalb mit Hilfe der Einzelzellelektrophorese (Comet-assay) systematische Untersuchungen angestellt. Dabei konnte eine Korrelation zwischen Laser-mikrobestrahlung und  $\gamma$ -Bestrahlung etabliert werden (3).

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im SS09 werden beide TUD Arbeitsgruppen weitere Diplomarbeiten und Forschungspraktikanten aus dem Fachbereich Biologie der TUD übernehmen: Es werden Praktika „Molekulare Strahlenbiologie“ und „Molekulare Zellbiologie“ für Diplom Studenten angeboten einschließlich eines Fortgeschrittenpraktikums mit Schwerpunkt Zellbiologie / Lebendzellmikroskopie / Genotoxizität.

Die „Molekulare Strahlenbiologie“ wird sich auf die Untersuchung der Reparatur komplexer DSBs konzentrieren. Teilchen-Experimente sollen Aufschluss über die Bedeutung der Lokalisation komplexer Brüche im Hinblick auf die Chromatinstruktur liefern. Die „Molekulare Zellbiologie“ wird sich hauptsächlich die DNA Schäden in Heterochromatin untersuchen. Besonderes Augenmerk soll dabei auf der unterschiedlichen Induktionsrate und Persistenz der Schäden liegen. Außerdem soll geklärt werden, wieweit die Reparatur von DSBs in Heterochromatin besondere Signalwege und Reparaturfaktoren benötigt. Ein Augenmerk soll dabei auf MBD4 liegen, einer Heterochromatin spezifischen Glycosylase.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

A. Beucher, J. Birraux, L. Tchouandong, O. Barton, A. Shibata, N. Rief, A. Goodarzi, A. Krempler, P. Jeggo, M. Löbrich, 2009, eingereicht.

A. Goodarzi, A. Noon, D. Deckbar, M. Löbrich, P. Jeggo, 2008, *Molecular Cell*, 31(2); 167-177.

P. Grigaravičius, A. Rapp and K.O. Greulich, 2009 *Mutagenesis* in Press.

O. Mortusewicz, W. Roth, N. Li, MC. Cardoso, M. Meisterernst, and H. Leonhardt 2008, *J. Cell Biol.* 183:769-776.

O. Mortusewicz, H. Leonhardt, and MC. Cardoso, 2008. *J. Cell. Biochem.* 104:1562-9.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10,<br>01069 Dresden   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8356</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abproduktkonditionierung |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.04.2006 bis 31.07.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.07.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>443.947,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Knorr              |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

Nachauftragnehmer der TU Dresden (TUD): VKTA Rossendorf e.V.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

API: Herstellen der radioaktiven Probekörper

APII: Externe Bestimmung der spezifischen Aktivität der Ablationsprodukte

APIII: Detailuntersuchungen zur elektrostatischen Abscheidung von Radioisotopen bei unterschiedlichen Temperaturniveaus

APIV: Detailuntersuchungen zur elektrostatischen Abscheidung von Radioisotopen bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten

APV: Detailuntersuchungen zur elektrostatischen Abscheidung von Radioisotopen bei unterschiedlichen Temperaturniveaus und Strömungsgeschwindigkeiten

APVI: Detailuntersuchungen zum elektromagnetischen Abheben von Schmelzetropfen

APVII: Adaption einer Koaxialdüse zum Austragen der Schmelze

APVIII: Integration der elektrostatischen Abscheidung in die Koaxialdüse

APIX: Demonstration des optimierten Zusammenwirkens der einzelnen Prozessschritte

APX: Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- Abschluss der Verifizierung der bisherigen Ergebnisse zum Nachweis von Radionukliden auf der Betonoberfläche und in der Betonschmelze
- Abschluss der Arbeiten zur Erweiterung der Ergebnismatrizen für die Ermittlung optimaler Laserparameter unter Verwendung einer weiterentwickelten Ausblasdüse. Der Schwerpunkt lag auf der Erzeugung großflächiger Abtragsfelder durch parallele Abtragspuren
- Konstruktion und Herstellung einer neuartigen Koaxialdüse unter Ausnutzung des Coanda-Effektes zur Realisierung einer maximalen Abtragsleistung
- Inbetriebnahme der neuen Koaxialdüse und Ermittlung der Abtragseigenschaften
- Untersuchungen zum elektromagnetischen Abheben von Schmelzetropfen
- Untersuchungen zur Integration der elektrostatischen Abscheidung von Radionukliden in die Absaugdüse
- Abschluss der experimentellen Arbeiten mit Demonstration des komplexen Zusammenwirkens der einzelnen Prozessschritte

Ergebnisse: Die Untersuchungen zum Einfluss der Laserparameter auf die Radionuklidfreisetzung ergaben, dass insbesondere der Randbereich der Laserspür eine Problemzone darstellt, da beim flächigen Abtrag die folgende Laserspür den schon einmal aufgeschmolzenen Randbereich der vorherigen Spür noch einmal mit erfassen muss. Durch das wiederholte Aufschmelzen wird vor allem das leicht flüchtige Cs (untersuchter Nuklidvektor:  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  und Uran) verstärkt freigesetzt. Die Lösung des Problems ist im Einsatz stärkerer Laser zu sehen, da diese es ermöglichen, durch die höhere Leistung in Verbindung mit einem Rechteckstrahlprofil die Anzahl der erforderlichen Doppelbestrahlungen bei gleicher Fläche deutlich zu reduzieren. (Anmerkung: Ein Schwerpunkt im Projekt MANOLA (02S8558) ist der Einsatz eines 10 kW-Lasers zur Dekontamination). Die Tests mit dem neuentwickelten Laserbearbeitungskopf mit Coanda-Koaxialdüse zeigten die sehr gute Eignung des Gerätes. Diese Konstruktion bildet die Basis für den künftigen manipulatorgetragenen Bearbeitungskopf des 10 kW-Lasersystems. Da hierfür die mobile Bearbeitungseinheit möglichst leicht sein soll, wurde auf die Integration der elektrostatischen Abscheidung (APVIII) in die Düse zu Gunsten einer separat aufgestellten Elektrofiltereinheit verzichtet. Die Untersuchungen zum elektromagnetischen Abheben von Schmelzetropfen zeigten, dass metallische Tropfen sich gut in Levitation bringen lassen, für silikatische Schmelzen hingegen sind die erreichbaren Kräfte nicht ausreichend. D. h. ein solches System eignet sich gut zum selektiven Abheben von Schmelzen metallischer Komponenten (z. B. Dübel in Beton) während des Abtragsprozesses. Der Abschlussbericht wurde fertig gestellt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Das Projekt ist abgeschlossen. Die Ergebnisse bilden die Basis für die Kombination eines neu zu entwickelnden 10-kW-Laserarbeitskopfes mit einem autark arbeitenden Manipulator (Projekt MANOLA).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Vortrag auf Tagung KONTEC-2005, KONTEC-2007, KONTEC-2009  
 Vortrag Jahrestagung Kerntechnik 2006  
 Vortrag auf Tagung ICONTEC-2009  
 Abschlussbericht

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Siempelkamp Nukleartechnik GmbH, Siempelkampstraße 45,<br>47803 Krefeld   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 S 8366</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Schutz durch Hochgeschwindigkeitsflammspritzschichten auf dickwandigen End- und Zwischenlagerbauteilen zur Reduktion von Reparaturen, Korrosion und Kosten -SHARK- |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2006 bis 30.09.2008  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 30.09.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>155.273,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Dipl.-Ing. Dyllong           |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist der Nachweis der großtechnischen Machbarkeit von Hochgeschwindigkeitsflammspritz-Beschichtungen auf Endlagerbauteilen zur Reduktion von Reparaturen, Korrosion und Kosten.

Ausgehend von der Klassifizierung bisheriger Beschichtungen von Nuklearkomponenten erfolgt die Adaption der HVOF-Technologie für die Anwendungen der Nukleartechnik sowie die Auswahl von Komponenten für die Verifizierung der großtechnischen Umsetzung. Parallel wird ein Programm für mögliche Reparatur- und Nachbehandlungsschritte erarbeitet.

Mit der Durchführung des Vorhabens werden Grundlagen für die Reparatur von Langzeitzwischenlagerbehältern einerseits und für die Auslegung und Fertigung von End- und Zwischenlagerkomponenten andererseits geschaffen. Das Vorhaben erschließt ein zusätzliches Sicherheitspotential im Hinblick auf die Betriebsphase eines Endlagers und den möglichen Einfluss einer korrosiven Atmosphäre. Das Verfahren trägt zu einer Weiterentwicklung im Bereich Korrosionsschutz für Zwischen- und Endlagerkomponenten sowie von HVOF-Beschichtungsverfahren bei, so dass neue Nutzungsmöglichkeiten und Optionen für wissenschaftliche Weiterentwicklungen eröffnet werden.

Das Vorhaben wird in Zusammenarbeit mit der Universität Hannover – Institut für Werkstoffkunde (Vorhaben mit dem Förderkennzeichen 02S8386) durchgeführt.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP2.1: Klassifizierung bisheriger Beschichtungen  
Spezifizierung bisheriger Beschichtungen von ausgewählten Nuklearkomponenten und die Gegenüberstellung zu den im Vorfeld des Vorhabens gewonnenen Ergebnissen.
- AP2.2: Adaption der HVOF-Technologie für die Anwendungen in der Nukleartechnik  
Prüfung bestehender Regelwerke, Einbeziehung entsprechender Sicherheitsrandbedingungen (z. B. Schallschutz) und die Festlegung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung. Machbarkeitstest an einer zylindrischen Kleinkomponente (ca. 7 t).
- AP2.3: Auswahl von Komponenten für die Verifizierung der großtechnischen Umsetzung  
Auswahl des Equipments insbesondere der Filter- und Manipulatorstechnik zur Beschichtung des Großzylinders.
- AP2.4: Programm möglicher Reparatur- und Nachbehandlungsschnitte  
Definition und Auswahl der Nachbehandlungs- und Reparaturzonen.

AP2.5: Großtechnische Realisierung  
HVOF-Beschichtung eines Großzylinders. Begleitend findet die Beprobung, Auswertung und Dokumentation statt.

AP2.6: Berichterstattung.

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

AP2.1: Literaturstudie zur Klassifizierung bisheriger metallischer Beschichtungsverfahren in der Nukleartechnik durch die GNS weiterhin in Bearbeitung.

AP2.2: Eine erneute Wiederholung der Beschichtung der Kleinkomponente konnte aus terminlichen Gründen im Berichtszeitraum nicht durchgeführt werden und wird nachgeholt. Ferner wurde beschlossen, auf einen Vergleich mit einer galvanisch beschichteten Oberfläche zu verzichten.

AP2.3: Keine Aktivität.

AP2.4: Untersuchungsbericht in Vorbereitung.

AP2.5: Keine Aktivität.

AP2.6: Keine Aktivität.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP2.1: Abschluss der Literaturstudie.

AP2.2: Sektorweise Wiederholung der Beschichtung der Kleinkomponente mit HVOF in Kombination mit Laserbeschichtung; Untersuchung beim IW Hannover.

AP2.3: Keine.

AP2.4: Keine.

AP2.5: Keine.

AP2.6: Abschlussdokumentation.

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

Keine.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8376</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Bestimmung von Endlager-relevanten, langlebigen Radionukliden mittels radiometrischer und spezieller massenspektrometrischer Verfahren |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2006 bis 31.01.2010  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>973.314,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Lierse von Gostomski     |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Bestimmung schwer messbarer, langlebiger Radionuklide wie z. B.  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{79}\text{Se}$ ,  $^{93}\text{Mo}$ , welche für Betrachtungen zur Langzeitsicherheit von Endlagerstätten und zur Beurteilung der radiologischen Belastung des Menschen und der Umwelt ein unerlässlicher Gesichtspunkt sind. Solch langlebige Nuklide sind in Abfallströmen zwar deklarationspflichtig, aber experimentell schwer zugänglich. Die üblichen Abschätzungen über Modelle sind aufgrund fehlender experimenteller Datenbasis fehlerbehaftet. Das Vorhaben soll experimentelle Methoden erarbeiten, um solch schwer messbare Nuklide verlässlich quantifizieren zu können und die Datenbasis für künftige Modellrechnungen zu verbessern.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Ausarbeitung von Trennungsgängen für die zu quantifizierenden Nuklide zur Abtrennung der Fremdaktivitäten unter Berücksichtigung der besonderen Probenmatrizes und der nachfolgenden Analytik

AP2: Optimierung der Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS) hinsichtlich der Isobaren-separation

AP3: Präparation von Realproben nach 1. und Messung mit AMS nach 2

AP4: Optimierung der hochauflösenden induktiv-gekoppelten Massenspektrometrie (ICP-RMS) analog 2

AP5: Präparation von Realproben nach 1. und Messung mit ICP-HRMS nach 4.

AP6: Radiochemische Neutronenaktivierungsanalyse für Nuklide, welche dadurch theoretisch zugänglich sind

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Ein effektiver Trennungsgang zur radiochemischen Reinigung von  $^{79}\text{Se}$  wurde erarbeitet, welcher bei der Bestimmung der Halbwertszeit dieses Nuklids zur Anwendung kommen soll.

Ein RDB-Stahl, der im Rahmen einer Diplomarbeit bereits mit AMS auf  $^{93}\text{Mo}$  untersucht wurde (damals konnte nur eine Nachweisgrenze angegeben werden), wurde nochmals mit größerer Probenmenge bearbeitet, um statt einer Nachweisgrenze eventuell einen tatsächlichen Wert angeben zu können.

Für die Bestimmung von  $^{99}\text{Tc}$  sowie  $^{129}\text{I}$  mittels Neutronenaktivierungsanalyse wurden diverse Parameter optimiert und getestet.

Von Sm und Lu wurden für LSC-Proben für einen externen Partner die exakten Konzentrationen sowie das Teilchenzahlverhältnis bestimmt, um im Rahmen dieser Zusammenarbeit die Halbwertszeit der langlebigen Nuklide  $^{147}\text{Sm}$  und  $^{176}\text{Lu}$  hoch-präzise zu bestimmen.

Die ICP-HRMS stand aufgrund infrastruktureller Gründe nicht in ausreichendem Maße für Messungen zur Verfügung.

#### Ergebnisse:

Der Trennungsgang für Se müsste auch für die in Karlsruhe abgetrennten heißen Proben erfolgreich angewandt werden können. Die Arbeiten zur radiochemischen Reinigung beginnen Anfang Februar.

Die Proben aus RDB-Stahl zur wiederholten Bestimmung mit AMS liegen vor und sind zur Messung während einer Strahlzeit Mitte Februar vorgesehen.

Die Arbeiten mit einem externen Partner zur Bestimmung der Halbwertszeit von  $^{147}\text{Sm}$  sind abgeschlossen und als Publikation eingereicht. Die Arbeiten für  $^{176}\text{Lu}$  laufen noch.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Das  $^{79}\text{Se}$  aus den HAR-Proben aus Karlsruhe soll bis zur radiochemischen Reinheit bearbeitet werden. Aktivitäts- und  $^{79}\text{Se}$ -Teilchenzahlbestimmung werden extern von Partnern durchgeführt. Das Ergebnis (Halbwertszeit) soll publiziert werden.

$^{99}\text{Tc}$  und  $^{129}\text{I}$  sollen in ausgewählten Realproben mittels Neutronenaktivierungsanalyse bestimmt werden.

Die Arbeiten zur Halbwertszeitbestimmung von  $^{176}\text{Lu}$  sollen im Frühjahr 2009 abgeschlossen sein.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Kossert, K., Jörg, G., Lierse v. Gostomski, Ch.: Activity standardization of  $^{41}\text{Ca}$  by means of liquid scintillation counting. *Radiochim. Acta* **97**, 1-8 (2009)

Kossert, K., Jörg, G., Nähle, O., Lierse v. Gostomski, Ch.: High-precision measurement of the half-life of  $^{147}\text{Sm}$ . Eingereicht.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8396</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchungen zur Strahlenschutz-Vorsorge für radionuklidbelastetes Substrat: Mikrobieller Beitrag zur Bioakkumulation aus Bauschutt |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2006 bis 31.12.2008   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>437.041,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Kothe              |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben diene der Strahlenschutzvorsorge durch biologische Dekontamination von radioaktivem Bauschutt unter Einsatz geeigneter Mikroben. Es untersucht mikrobiologische und biotechnische Prozesse, die insgesamt eine optimale Ausnutzung von Bepflanzungsstrategien zur sanften Remediation von radioaktiv belastetem Bauschutt in einer Biosituationsbereinigung erlauben sollen. Die Arbeiten sind durch die inhaltliche Verknüpfung mit dem Graduiertenkolleg „Alteration und Elementmobilisierung an Mikroben-Mineral-Grenzflächen“ ein Beitrag zur Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder gewesen, die die „Jena School for Microbial Communication, JSMC“ zur Förderung als Graduiertenschule im Oktober 2007 genehmigt hat.

Die Arbeiten wurden zur Umsetzung in eine Pilotanlage gebracht.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Ernte der Lysimeter erfolgte wie geplant im Oktober 2007. Die Analysen der Proben, die den Einfluss unterschiedlicher Bepflanzung und mikrobiellen Inokulation auf Dekontamination dienen sollen, erfolgen zurzeit. Hier wurden in der letzten Pflanzperiode Agrocystis-Gras getestet, das eine mehrjährige Bepflanzung erlaubt und für große Biomasseerträge bekannt ist. Möglicherweise – abhängig von den erzielten Ergebnissen – wäre hier eine Verbesserung im Sinne der Nachhaltigkeit mehrjähriger Bepflanzungen möglich. In 2009 sind Messungen der Einflussgröße von Mikroben durch Antibiotika/Mykostatika geplant (außerhalb dieses Projektes, welches Ende 2008 abgeschlossen wurde).



### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Untersuchungen sind alle wie oben beschrieben durchgeführt worden und im Jahr 2008 wurde erstmals auch die Pilotanlage bepflanzt.

Die Auswahl von Mikroben zur Unterstützung der Phytoextraktion hat exzellente Ergebnisse erbracht, insbesondere für die Extraktion von Strontium.

Ein ausführlicher Abschlussbericht wird bis zum 30.06.2009 vorgelegt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Vorlage des Abschlussberichts.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Neben einigen Publikationen (s. u.) wird insbesondere eine Promotion aus den Arbeiten hervorgehen. Die Dissertation ist abgeschlossen und wird am 6.1.2009 verteidigt.

- Haferburg G, Klöß G, Schmitz W, Kothe E, 2008. „Ni-struvite“ – a new biomineral formed by a nickel resistant *Streptomyces acidiscabies*. *Chemosphere* 72, 517-523.
- Dimkpa C, Svatos A, Dabrowska P, Schmidt A, Boland W, Kothe E, 2008. Relationship between selected heavy metals and the simultaneous production of auxins and siderophores by *Streptomyces* spp. *Soil Biol. Biochem.* 41, 154-162.
- Kothe, E., 2008. Sexual attraction: On the role of fungal pheromone/receptor systems (a review). *Acta Microbiol. Immunol. Hung.* 55, 125-143.
- Schmidt M, Zahn S, Carella M, Öhlenschläger O, Görlach, M, Kothe E, Weston J. 2008. Solution structure of a functional biomimetic and mechanistic implications for nickel superoxide dismutases. *Chem. Bio. Chem.* 9, 11-13.
- Albarracín, V.H., Winik, B., Kothe, E., Amoroso, M.-J., Abate, C.M. 2008. Copper bioaccumulation by the actinobacterium *Amycolatopsis* sp. AB0. *J. Basic Microbiol.* 48, 323-330.
- Dimkpa, C.O., Svatos, A., Dabrowska, P., Schmidt, A., Boland, W. 2008. Involvement of siderophores in the reduction of metal-induced inhibition of auxin synthesis in *Streptomyces* spp. *Chemosphere* 74, 19-25.
- Haferburg G, Groth I, Möllmann U, Kothe E, Sattler I. 2009. Arousing sleeping genes: Shifts in secondary metabolism of metal tolerant actinobacteria under conditions of heavy metal stress. *J. Biotech.*, in press. DOI 10.1007/s10534-008-9157-4.
- Tietze D, Breitzke H, Imhof D, Kothe E, Weston J, Buntkowsky G. 2009. New insight into the mode of action of nickel superoxide dismutase by investigating metalloprotein substrate models. *Chemistry* 15, 517-523.
- Sineriz ML, Kothe E, Abate CM. 2009. Cadmium biosorption by *Streptomyces* sp. F4 isolated from former uranium mine. *J. Basic Microbiol.*, in press.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>SGE Spezialgeräteentwicklung GmbH, Lohmener Str. 11,<br>01796 Pirna   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 S 8406</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Weiterentwicklung der Technologie Plasmaschneiden für nichtmetallische Materialien für den praktischen Einsatz beim Rückbau und der Zerlegung von Kernkraftwerksanlagen und Reaktoren sowie für den Katastrophenschutz |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.09.2006 bis 31.08.2008  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.08.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>353.540,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Dipl.-Ing. Pfaff             |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben hat das Ziel der Weiterentwicklung der Technologie „Plasmaschneiden für nichtmetallische Materialien“ für den praktischen Einsatz beim Rückbau und der Zerlegung von Kernkraftwerksanlagen und Reaktoren sowie für den Katastrophenschutz. Das Plasmaschneiden für nichtmetallische Materialien ist ein universell einsetzbares Trenn- und Abtragsverfahren, welches sich durch folgende Merkmale auszeichnet:

- leichtes Werkzeug
- vibrationsfreies und berührungsloses Trennverfahren
- Trennbarkeit fast aller Materialien und Materialgemische
- geringe Wärmeausbreitung
- Bearbeitungsprozess ohne Krafteintrag
- Manipulatoreinsatz möglich
- preiswerte Verschleißteile.

Damit sind verschiedene Einsatzmöglichkeiten gegeben:

- Katastrophenschutz (z. B. THW)
- Zerlegung von kontaminierten Materialien
- Rückbau von Kernkraftanlagen
- Aufbereitung von zum Recycling vorgesehener Baugruppen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Entwicklung strömungsoptimierter Brennerkopf
- AP2: Entwicklung Handbrenner
- AP3: Zerlegeversuche an Reaktorelementen
- AP4: Entwicklung Brenner für Flächenabtrag
- AP5: Entwicklung Brenner für Unterwassereinsatz
- AP6: Entwicklung Auffangvorrichtung für Schmelze

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

Zur Untersuchung der Anwendung des Verfahrens zur Dekontamination von radioaktiv kontaminierten Schwerbetonabschirmsteinen wurden Versuche zum Flächenabtrag durchgeführt.

Die Arbeiten wurden mit dem neu entwickelten Handplasmabrenner in einem Caisson des VKTA Rossendorf durch Mitarbeiter des VKTA realisiert. Die geplante Versuchsanordnung beinhaltete die Stationierung des Plasmaschneidgerätes und des peripheren Equipments außerhalb des Caissons sowie das Einführen des Handbrenners einschließlich des benötigten Schlauchpaketes an den Arbeitsplatz im Caisson.

Die Oberflächenkontamination des ausgewählten Schwerbetonstein betrug  $2,5 \text{ Bq/cm}^2$ , ermittelt mit einem Messgerät LB 122. Nach dem Schmelzabtrag sowie einer anschließenden Bearbeitung der verglasten Fläche mit einem Nadler betrug die Restkontamination der Fläche  $0,2 \text{ Bq/cm}^2$ .

Der durchgeführte Versuch belegt die Erwartungen, dass bei kontaminierten Oberflächen durch Verwendung der Technologie "Plasmaschneiden für nichtmetallische Materialien" Dekontaminationseffekte erzielt werden können.

Die erforderliche Abtragtiefe ist abhängig von der Eindringtiefe der Kontamination variabel steuerbar. Es kann mit diesem Verfahren gezielt der kontaminierte Teil des Betons abgetragen werden, was zu einer Verringerung des radioaktiven Abfallaufkommens führt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Das Projekt endete zum 31.08.2008.

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

Keine.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstr. 7, 72074 Tübingen                                    |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8416</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Das Phänomen der Hyperradiosensitivität und deren Modulation durch den Radioprotektor Phosphotyrosin |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>                         |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.01.2007 bis 31.12.2009  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>220.644,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Rodemann           |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Phänomen der Hyperradiosensitivität (HRS) im niederen Strahlendosisbereich spricht für eine hohe biologische Wirksamkeit der so genannten „low-dose“-Strahlung. Das Projekt zielt darauf ab, die zugrunde liegenden Mechanismen zu erarbeiten und Möglichkeiten zu finden die Hyperradiosensitivität und die Persistenz von DNA-Schäden nach „low-dose“-Bestrahlung zu unterdrücken.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Vor dem Hintergrund eigener Vorarbeiten zu potenziellen zell- und molekularbiologischen Voraussetzungen der Aspekte HRS und Radioprotektion wird untersucht werden, inwiefern das TP53-Protein in den molekularen Mechanismus der HRS eingebunden ist und ob durch selektive Radioprotektoren, die TP53-spezifisch wirken, eine Modulation des HRS-Phänomens zu erreichen ist. In diesem Gesamtzusammenhang konzentriert sich auch ein wesentlicher Aspekt des Projektes auf die potenzielle Beteiligung EGFR-abhängiger Regulationsprozesse der DNA-Reparatur im Kontext von „high“ vs. „low dose“ Bestrahlung.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Es wurde die Tp53-Abhängigkeit der DNA-Doppelstrangbruch-Reparatur und die Frage der potenziellen Beteiligung des Membranrezeptor-Signallings, speziell des EGFR an der Regulation der Strahlenreaktion nach „high dose“ vs. „low dose“-Bestrahlung untersucht. Aus begleitenden Untersuchungen im Kontext des strahleninduzierten Membranrezeptor-Signallings über die PI3K-Akt-Kaskade ergab sich zudem der Aspekt der Rolle des Enzyms Superoxid-Dismutase (SOD) am Phänomen der Hyperradiosensitivität. Um generelle Daten bzgl. SOD-Beteiligung an der zellulären Strahlenreaktion zu erhalten, wurden zunächst Untersuchungen im „high dose“ Bereich (0-4 Gy) durchgeführt.

**3.1 DNA-Schäden und Reparatur:** Das Phänomen der Hyperradiosensitivität wurde in Zellen mit wt. TP53 im Dosisbereich unter 50 mGy beobachtet. Dazu passend wurde mit Hilfe des  $\gamma$ H<sub>2</sub>AX Assay aufgezeigt, dass strahleninduzierte DNA-Schäden nach Bestrahlung in diesem Dosisbereich nur sehr langsam repariert werden. Strahleninduzierte DNA-PK-Aktivität findet sich in diesen Zellen erst nach Bestrahlungen mit einer Dosis über 50 mGy. In Zellen mit mutiertem TP53 wird das Phänomen der Hyperradiosensitivität nicht beobachtet. Die basale Menge an DNA-Schäden ist zwar im Vergleich zu den Zellen mit Wildtyp-TP53 erhöht, aber die Entfernung von Schäden nach Bestrahlung im Dosisbereich unter 50 mGy funktioniert in gleicher Weise wie im Normaldosisbereich 1-6 Gy. Interessanterweise ist jedoch in Zellen mit mutiertem TP53 die basale Menge an phosphorylierter DNA-PK erhöht und die strahleninduzierte Erhöhung zeigt sich schon im Bereich unter 50 mGy.

**3.2 Aryl-Hydrocarbon-Rezeptor (AHR):** Untersuchungen zum Mechanismus der DNA-PK-Aktivierung im Normaldosisbereich zeigten, dass ionisierende Bestrahlung den zytoplasmatischen Aryl-Hydrocarbon-Rezeptor (AHR) aktiviert und über die Aktivierung der src-Kinase der membranständige EGFR Caveolin-abhängig internalisiert wird. Aus seiner perinukleären Lokalisation transloziert der EGFR in den Zellkern und ist essenziell für die Aktivierung/Phosphorylierung der DNA-PK und nachfolgend für die Reparatur von DNA-Doppelstrangbrüchen. So stellt sich die Frage nach der Aktivierung des beschriebenen Signalling im Dosisbereich unter 50 mGy. In der Tat konnten wir zeigen, dass in A549-Zellen die Aktivierung des AHR erst nach Applikation von Dosen zwischen 30-50 mGy erfolgt. Für eine mögliche Unterdrückung der Hyperradiosensitivität wird der Einsatz von P-Tyr diskutiert. Dieser Radioprotektor erhöht TP53-abhängig die DNA-Reparaturkapazität der Zelle und erhöht das zelluläre Überleben nach Bestrahlung im klinisch relevanten Dosisbereich bis 2 Gy. Dabei zeigte sich, dass die nukleäre Translokation des Membranrezeptors EGFR in den Zellkern und seine Interaktion mit der DNA-PK einen wesentlichen Einfluss auf die Reparaturkapazität der Zellen hat. Eine P-Tyr Vorbehandlung induziert die Kerntranslokation des EGFR und aktiviert die DNA-

Reparatursysteme schadensunabhängig. Ein nachfolgend gesetzter Schaden wird schneller aus dem Genom entfernt und die Gefahr der Manifestation einer Mutation wird kleiner. Bislang ist nicht verstanden, wie der Radioprotektor P-Tyr in der Lage ist, den Kerntransport des EGFR in die Wege zu leiten. Wir konnten zeigen, dass eine P-Tyr Behandlung mit dem AhR und der Kerntranslokation des EGFR interagiert.

Eine Behandlung mit P-Tyr führte zu einer Translokation des EGFR in den Zellkern. Gleichzeitig kommt es zu einer Aktivierung des AhR, der dann ebenfalls in den Zellkern transportiert wird. Ein „Knockdown“ der AhR-Expression durch spezifische si-RNA beseitigte die P-Tyr-assoziierte EGFR-Translokation fast vollständig. So scheint die AhR-Aktivierung sowohl nach Bestrahlung als auch nach P-Tyr-Behandlung ein wichtiges molekulares Ereignis zu sein. Wie der AhR aktiviert wird, ist noch unklar, aber es gibt erste Hinweise, dass Produkte des oxidativen Abbaus der Arachidonsäure nach Bestrahlung und P-Tyr-Inkubation eine Rolle spielen. Dabei spielt die Menge an endogenen Radikalen eine wichtige Rolle. Enzyme, wie z. B. Mn-SOD, spielen bei der Regulation der endogenen und Strahleninduzierten Radikale eine wichtige Rolle.

**3.3 Superoxid-Dismutase (SOD):** Die Aktivität zellulärer Superoxid-Dismutasen, d. h. der mitochondrialen Mn-SOD und der cytoplasmatischen CuZn-SOD, an der Entgiftung von im endogenen Metabolismus aber durch ionisierende Strahlung entstandenen reaktiven Sauerstoff-Spezies (*reactive oxygen species* - ROS) ist von wesentlicher Bedeutung für die zelluläre Strahlenreaktion. Somit stellt das SOD-System einen endogenen Protektionsmechanismus auch gegen die Wirkung ionisierender Strahlung dar, da durch die Entgiftung der durch Strahlenexposition entstandenen ROS dem indirekten Effekt der Wirkung ionisierender Strahlung entgegengewirkt wird. Vor diesem Hintergrund und aufgrund der Tatsache, dass – wie oben beschrieben – die Aktivierung des AhR sehr wahrscheinlich über oxidative Prozesse an der Zellmembran durch strahleninduzierte ROS vermittelt wird und zudem auch das Signalling von Wachstumsfaktorrezeptoren eine regulatorische Rolle in der Expression des SOD-Systems besitzt, wurde in zusätzlichen Experimenten die Strahleninduzierbarkeit des SOD-Systems analysiert. Um hierbei gesicherte Aussagen machen zu können, wurden die Expression und Aktivität von der Mn-SOD wie auch der CuZn-SOD nach Bestrahlung der Zellen im „hohen“ Dosisbereich (1-4 Gy) untersucht. Die hierbei festzustellenden Werte sollen dann als Bezugbasis für die Analysen des SOD-System im niederen Dosisbereich gelten.

Es kommt bereits nach einer Bestrahlungsdosis mit 1 Gy zu einer deutlichen Steigerung der Mn-SOD-Expression, die zwischen 24 und 36 h nach Strahlenexposition am markantesten zu beobachten ist. Die Expressionssteigerung nach 1-3 Gy ist hierbei ca. 1,6-fach, während ab 4 Gy eine ca. 2-fache Expressionssteigerung (hier bereits nach 24 h) zu beobachten ist.

Die im Gesamtzellextrakt zu beobachtende Steigerung der Gesamtexpression von Mn-SOD ist sehr wahrscheinlich auf eine strahleninduzierte bzw. ROS-bedingte Steigerung der Mn-SOD-Genexpression zurückzuführen. Hierbei scheint – wie erste Befunde zeigen – in erster Linie der Membranrezeptor-gesteuerte PI3K-Akt-Signalweg beteiligt zu sein. Demgegenüber kommt es nach Strahlenexposition ohne Veränderung der Genexpression zu einer kurzzeitig nach Bestrahlung feststellbaren Translokation der Mn-SOD in den Zellkern. Bereits ca. 30 min nach Bestrahlung ist eine deutliche Akkumulation der Mn-SOD im Zellkern nachweisbar, ebenso wie die strahleninduzierte Translokation des *stress response*-Faktors NFκB. Die im Kontext dieser Analysen durchgeführten Experimente zeigten erstmalig, dass die Mn-SOD, die bislang „nur“ als mitochondriales SOD-Enzym beschrieben worden ist, nach Strahlenexposition auch in den Zellkern transloziert wird. Darüber hinaus lassen die Immunpräzipitationsexperimente mit einem NFκB-spezifischen Antikörper nach Fraktionierung der Zellysate in Zytoplasma- und Kernfraktionen erkennen, dass die Mn-SOD nach Strahlenexposition offensichtlich im Komplex mit NFκB im Zellekern akkumuliert.

In der Gesamtschau der bisherigen Experimente ist zu erkennen, dass differenzielle Unterschiede bzgl. des Hyperradiosensitivitätsphänomens in Abhängigkeit vom TP53-Status bestehen. Dabei spielt offensichtlich die unterschiedliche Induzierbarkeit der DNA-PK eine Rolle und damit assoziiert die Effizienz des *Non-Homologous-End-Joining*-Reparaturprozesses (NHEJ). Dabei findet sich in Zellen mit mt. TP53 eine bereits deutlich erhöhte Basalaktivität der DNA-PK. Inwiefern die strahleninduzierte Aktivierung der DNA-PK und die damit assoziierte Signaltransduktion sich unterscheiden, muss in weiterführenden Experimenten untersucht werden. Außerdem muss die detaillierte Rolle des AhR bei der Transmodulation der Bestrahlung in ein molekulares intrazelluläres Signal weiter abgeklärt werden. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob die SOD durch „low dose“-Bestrahlung effektiv aktiviert werden kann und inwiefern eine dadurch zu erwartende Modulation des „indirekten Effektes“ das Phänomen der Hyperradiosensitivität beeinflusst wird. Die genauen Wirkmechanismen zu diesen Fragenkomplexen und vor allem der Einfluss von TP53 auf diese Prozesse sollen in weiterführenden Experimenten aufgeklärt werden.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Untersuchung der molekularbiologischen Mechanismen der sehr wahrscheinlich TP53-gekoppelten Hyperradiosensitivität im Kontext der durch pTyr beeinflussbaren EGFR-Regulation. Daneben ist abzuklären, wie im niederen gegenüber dem hohen Strahlendosisbereich eine möglicherweise nicht oder nur geringfügig ausgeprägte Aktivitäts- bzw. Expressionsmodulation der Mn-SOD eine Rolle in der Hyperradiosensitivität von Zellen spielt.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Dittmann K, Mayer C, Kehlbach R, Rodemann HP: Radiation-induced caveolin-1 associated EGFR internalization is linked with nuclear EGFR transport and activation of DNA-PK. *Molecular Cancer* 7:69 pp1-9 (2008)

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Martinistr. 52,<br>20251 Hamburg                 |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8427</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Genomische Instabilität durch Doppelstrangbrüche: Bedeutung des Single-strand annealing |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>            |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.03.2007 bis 28.02.2010   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>242.558,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Dahm-Daphi               |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Mit diesem Projekt soll untersucht werden, ob für die Reparatur von DNA Doppelstrangbrüche der Weg des „Single-strand annealings“ (SSA) eine besondere Bedeutung hat. Im Gegensatz zu den beiden Hauptwegen, dem „nicht-homologen endjoining“ und der „homologen Rekombination“ ist über diesen Reparaturweg in Säugerzellen wenig bekannt, so dass er hier erstmalig umfassend charakterisiert werden soll. Insbesondere soll die Rolle des SSA für die genomische Instabilität erforscht werden. Daraus ergibt sich zusätzlich die Frage, ob dieser Weg in Tumorzellen und für die Tumorenstehung eine besondere Rolle spielt.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Häufigkeit des SSA

AP2: Zellzyklusabhängigkeit des SSA

AP3: Regulation des SSA

AP4: Entstehung von Translokationen durch SSA

AP5: SSA in Tumorzellen vs. SSA in Normalzellen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Es wurden spezifische Reparaturkonstrukte zur Messung von SSA und auch für dessen Ersatzwege homologer Rekombination und nicht-homologem endjoining (zu AP1). Diese Konstrukte wurden in Hamsterzellen mit unterschiedlichen Reparaturdefekten (AP1 und 3) (Mansour et al. 2008), in Nierenepithelzellen und in verschiedene humane Tumorzellen (AP5) integriert. Die Synchronisation von Zellen im Zellzyklus wurde optimiert (AP2). Parallel wurden Methoden entwickelt, um das Verhältnis und die Regulation der Reparaturwege an Tumorzellextrakten. Damit sind inzwischen rasche Fortschritte erzielt worden, so dass dieser Weg intensiv weiter verfolgt wird (zu AP1, 2, 3, 5).

Bisherige Ergebnisse: SSA hat neben den beiden Hauptreparaturwegen mit etwa 2-4 % einen nennenswerten Anteil an der Doppelstrangbruchreparatur. SSA kann darüber hinaus als Ersatzweg dienen, wenn andere Wege nicht zur Verfügung stehen. Als neuartiges Resultat

konnten wir erstmalig beschreiben, dass Rad51, ein Protein, das normalerweise weder im nichthomologen Endjoining, noch im SSA beteiligt ist, dennoch in die Regulation und Abstimmung dieser beiden Wege involviert ist. Diese Ergebnisse sind inzwischen für Hamsterzellen publiziert (Mansour et al. 2008). Derzeit arbeiten wir daran zu zeigen, dass SSA auch in höheren Säugerzellen (primaten und human) ein relevanter Ersatzweg sein kann. Bisher zeigten diese Zellen in ähnlicher Häufigkeit SSA wie die Hamsterzellen. Anders verhält es sich in unseren ersten Tumorzellen (2 Kopfhaltumore). Insbesondere zeigte die sensitive Zelllinie ein hohes Maß an SSA dafür aber geringeren Gebrauch von NHEJ (Kasten-Pisula et al. 2009). Daraus entwickelten wir die Hypothese, dass in Tumorzellen DSB-Bruchenden instabil sind und damit mutagene Wege wie SSA begünstigt werden. Die zugrunde liegenden Mechanismen sollen weiter untersucht werden. Sie könnten ein neuartiges Verständnis für die Empfindlichkeit / Resistenz einzelner Tumoren eröffnen.

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

- Untersuchung von Hamsterzellen mit weiteren genetischen Defekten (irs1-SF und XR1 Zellen) eingesetzt (zu AP1 und AP3).
- Optimiertes Endonuklease-Expressionsplasmid wird zellzyklusspezifisch eingesetzt. (zu AP2. Parallel werden zellfreie Extrakte von synchronisierten SKX und FaDu Zellen erstellt und an plasmidbasierten Reparatursubstraten getestet (pEJ und pEJSSA).
- Inaktivierung von Rad52 über siRNA und Bestimmung der Rolle dieses zentralen SSA-Proteins für die Regulation aller drei Reparaturwege (AP1-3).
- Etablierung von FISH-Technik kombiniert mit der Integration von multiplen Kopien von SSA-Substraten. Daran soll die Rolle von SSA und NHEJ für Austauschaberrationen untersucht werden, beginnend mit SKX und FaDu-Zellen (zu AP4).
- Fortsetzung biochemischen Reparaturassays an Zellextrakten einer größeren Anzahl von Tumorzellen zunächst 8 weitere Kopf-Haltumore (zu AP1, 2, 3, 5).

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

Vortrag OC3-5: Mansour et al. bei der Deutschen und Französischen Gesellschaften für DNA Reparaturforschung in Toulouse 15-19. September 2007.

Mansour, W. Y.; Schumacher, et al. and Dahm-Daphi, J. Hierarchy of non-homologous end-joining, single-strand annealing and gene conversion at site-directed DNA double-strand breaks, *Nuclear Acids Research*, 36, 4088-4098, (2008).

Kasten-Pisula, Mansour, Dahm-Daphi et al. The extreme radiosensitivity of the squamous cell carcinoma SKX is due to a defect in DSB repair. *Radiother. & Oncol.* in press, (2009).

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8437</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.05.2007 bis 30.04.2010   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>482.046,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Bach               |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In der Bundesrepublik Deutschland befinden sich zurzeit 17 Kernkraftwerke im Rückbau, wovon das Kernkraftwerk Niederaichbach und der HDR in Karlstein bereits vollständig demontiert und die "Grüne Wiese" wieder hergestellt werden konnten. Hierbei konnten umfangreiche Erfahrungen gesammelt werden, so dass aus heutiger Sicht keine grundsätzlichen technischen Schwierigkeiten beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen mehr bestehen.

Die Zerlegung von radiologisch belasteten Großkomponenten bleibt jedoch eine schwierige Aufgabe. Zum Einen müssen diese Arbeiten zumeist fern hantiert bzw. automatisiert durchgeführt werden, zum Anderen sind die Abmessungen groß und die Strukturen und Einbausituationen komplex. Sofern die etablierten Verfahren, wie thermisches Schneiden, Nippeln, Sägen, Seilsägen usw., hier nicht oder nur mit reduzierter Leistungsfähigkeit eingesetzt werden können, sind diese Arbeiten zum Teil nur unter hohen zeitlichen und finanziellen Aufwendungen zu realisieren.

Das Forschungsvorhaben setzt an diesem Punkt an: Ziel des Verbundprojektes ist die Entwicklung von flexiblen und kostengünstigen Werkzeugen zum Rückbau von Stahl- bzw. Stahl-Verbund-Komponenten (armierter Schwerstbeton, verlorene Schalungen) basierend auf dem Trennschleifprozess.

Hierzu werden zunächst Hartstoffe qualifiziert, die als Alternative zum Diamant, neben Beton, auch gegenüber Stahl eine hohe Schnittleistung und Standzeit aufweisen. Anschließend werden Hartstoffsegmente als Metall-Matrix-Komposite entwickelt und gefertigt, wiederum experimentell mit einem zu entwickelnden Prüfstand qualifiziert und schließlich an Wand- und Schwertsägen, sowie an eine Seilschleifmaschine adaptiert und praxisnah getestet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Grundlagenuntersuchungen zum Schneidverhalten von Hartstoffen an Stahl und CrNi-Stahl

- a.) Fertigung der Reibstifte mit Hartstoff-Einlage sowie der Stahl-Probekörper
- b.) Inbetriebnahme und Einregelung des Tribometer-Messstandes
- c.) Durchführung von Erosionsversuchen
- d.) Erfassung des quantitativen Verschleißes an Hartstoff und Probekörper, Bestimmung der Verschleißmodi

AP2: Untersuchungen zum Schneidverhalten von unterschiedlichen Schneidstofflegierungen

- a.) Herstellung der Schneidsegmente



- b.) Aufbau und Inbetriebnahme eines Prüfstandes zur Untersuchung der Schneideigenschaften von Einzel-Schneidsegmenten
- c.) Durchführung von Schneidversuchen
- d.) Erfassung des quantitativen Verschleißes an Schneidsegmenten und Stahlproben, Bestimmung der Verschleißmodi

AP3: Entwicklung, Konstruktion und Fertigung von Schneidgeräten zum Trennen von Stahl und CrNi-Stahl sowie Praxistests

AP4: Abschlusspräsentation und Abschlussbericht

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

AP1:

Die Arbeiten zum Arbeitspaket 1 (Qualifizierung der zu verwendenden Hartstoffe im Tribometerversuch) wurden weitgehend abgeschlossen. In der Zwischenzeit wurde am IW ein konfokales Lasermikroskop angeschafft, das nun exaktere Analysen an den Reibstiften bzw. Scheiben erlaubt. Dies wird auch verwendet werden, um die Elemente und Scheiben aus Arbeitspaket 2 zu untersuchen.

Die Ergebnisse vom Autofokus-Laser-Messgerät sowie dem Streifen-Projektionsprofilometer werden mit dem neuen Instrument qualifiziert und verifiziert.

AP2:

Entwurf und Konstruktion des Prüfstandes für Schneidsegmente:

Wie im letzten Bericht beschrieben, wurde eine kommerzielle Drehbank angeschafft und bereits für den Betrieb als Prüfstand umgerüstet. Hierzu wurde eine Messplattform adaptiert, die Kräfte und Momente in allen drei Raumrichtungen aufnimmt, und eine entsprechende Aufnahme- und Auswerteeinheit installiert.

Momentan werden die Reibscheiben aus Baustahl, CrNi-Stahl sowie einer Betonqualität gefertigt. Eine Probenaufnahme hierfür an der Drehbank ist realisiert. Der Projektpartner BÜDIAM hat bereits erste Reibsegmente geliefert, und bereitet die Produktion der weiteren Versuchsserien vor.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP1:

- a.) Fertigstellung der letzten Oberflächenanalysen.
- b.) Qualifizierung und Verifizierung der bisherigen Messergebnisse mit dem konfokalen Mikroskop.

AP2:

- a.) Inbetriebnahme des fertig gestellten Messstandes (Drehbankbasis) und Einregulierung.
- b.) Durchführung von Errosionsversuchen (div. Hartstoffe in identischer Weichmetallmatrix gegen CrNi-Stahl, Baustahl und Beton).
- c.) Analyse der Ergebnisse der Schneidsegmente bzgl. der Eignung als im Zerlegewerkzeug einsetzbare Blatt- bzw. Kettenbestückung.

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

Keine.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>BÜDIAM Diamantwerkzeuge R. und N. Büttner GmbH, Industriestr. 5a, 35713 Eschenburg   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8447</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.05.2007 bis 30.04.2010   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>300.480,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Weber                    |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In der Bundesrepublik Deutschland befinden sich zurzeit 17 Kernkraftwerke im Rückbau. Hierbei konnten umfangreiche Erfahrungen gesammelt werden, so dass aus heutiger Sicht keine grundsätzlichen technischen Schwierigkeiten beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen mehr bestehen.

Die Zerlegung von radiologisch belasteten Großkomponenten bleibt jedoch eine schwierige Aufgabe. Das Forschungsvorhaben setzt an diesem Punkt an: Ziel des Verbundprojektes ist die Entwicklung von flexiblen und kostengünstigen Werkzeugen zum Rückbau von Stahl- bzw. Stahl-Verbund-Komponenten (armierter Schwerstbeton, verlorene Schalungen) basierend auf dem Trennschleifprozess.

Hierzu werden zunächst Hartstoffe qualifiziert, die als Alternative zum Diamant, neben Beton, auch gegenüber Stahl eine hohe Schnittleistung und Standzeit aufweisen. Anschließend werden Hartstoffsegmente als Metall-Matrix-Komposite (MMC) entwickelt und gefertigt, wiederum experimentell mit einem zu entwickelnden Prüfstand qualifiziert und schließlich an Wand- und Schwertsägen sowie an eine Seilschleifmaschine adaptiert und praxisnah getestet.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Grundlagenuntersuchungen zum Schneidverhalten von Hartstoffen an Stahl und CrNi-Stahl

- a.) Fertigung der Reibstifte mit Hartstoff-Einlage sowie der Stahl-Probekörper
- b.) Inbetriebnahme und Einregelung des Tribometer-Messstandes
- c.) Durchführung von Erosionsversuchen
- d.) Erfassung des quantitativen Verschleißes an Hartstoff und Probekörper, Bestimmung der Verschleißmodi

AP2: Untersuchungen zum Schneidverhalten von unterschiedlichen Schneidstofflegierungen

- a.) Herstellung der Schneidsegmente
- b.) Aufbau und Inbetriebnahme eines Prüfstandes zur Untersuchung der Schneideigenschaften von Einzel-Schneidsegmenten
- c.) Durchführung von Schneidversuchen
- d.) Erfassung des quantitativen Verschleißes an Schneidsegmenten und Stahlproben, Bestimmung der Verschleißmodi

AP3: Entwicklung, Konstruktion und Fertigung von Schneidgeräten zum Trennen von Stahl und CrNi-Stahl sowie Praxistests

AP4: Abschlusspräsentation und Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP1:

In Absprache mit dem Projektpartner IW Hannover wurde das Augenmerk darauf gelegt, eine neue Geometrie für Grundsatzuntersuchungen zu entwickeln. Auf der neu installierten Drehbank, die für diese Untersuchungen umgerüstet wird, erscheinen die bereits gefertigten Reibstifte als nicht geeignet. Aus diesem Grund wurde eine neue Probengeometrie in Angriff genommen. Während die Reibstifte Versuche an singulären Hartstoffen widerspiegeln, bezieht das neue System eine Pluralität von identischen Hartstoffen, eingebettet in eine metallische Bindungsmatrix, ein. Ausgangspunkt dieser Untersuchungen war zunächst, eine geeignete Matrix, in die unterschiedliche Hartstoffe eingebettet werden können, zu entwickeln. Letztendlich wurde eine Kupferbasislegierung erarbeitet, in die sich problemlos verschiedene Hartstoffe einbauen lassen können. Die geometrische Ausführung wurde mit Hilfe einer sintertechnisch hergestellten Zylinderbuchse realisiert. Diese wird durch Kaltpressen der Basispulverpartikel mit den eingemischten Hartstoffen zum Grünling verdichtet. Dieser Grünling wird dann auf eigens hergestellte Stahlträgerkörper aufgesetzt und durch eine Sinterbehandlung zum einen dicht gesintert und zum anderen eine nicht lösbare Verbindung zum Trägerkörper erzeugt. Der Zweck dieses Aufbaus ist es, diese Trägerkörper in die modifizierte Drehbank einzubauen und das eigentliche Reibelement mit den diversen Reibscheiben zu beaufschlagen. Eine Verfahrensweise könnte darin bestehen, die reine Basislegierung in den Versuchen als Referenzwert einzumessen. Die Einlagerung von unterschiedlichen Hartstoffen in die Matrix wird dann zu entsprechenden Verschleißänderungen führen, die für die Auslegung der anschließenden Feldversuche maßgeblich sind. Ein weiterer Vorteil dieses System ist seine Praxisnähe, da spätere Schneidversuche mit in etwa ähnlichen Werkzeuggeometrien durchgeführt werden können.

Eine erste Serie von Reibsegmenten wurde bereits gefertigt und dem IW Hannover zur Verfügung gestellt.

#### AP2:

Die im ersten Halbjahr begonnene Entwicklung einer neuartigen Sintertechnik wurde weiter entwickelt. Es wurden verschiedenartige Sinterwegen vorbereitend auf die folgenden Feldversuche getestet. Bei diesen Versuchen wurde als Zielsetzung definiert, einen technischen Arbeitsprozess zu entwickeln.

Mit diesen Versuchsreihen einhergehend konnte im Bereich der Sägeseiltechnologie die Grundlage für eine Werkzeugauslegung entwickelt werden, die mit einer neuartigen Schneidengeometrie arbeitet. Während Sägeschneidkörper zurzeit mit einem uniformen Aufbau arbeiten, ist in diesem Fall der Prototyp eines gradierten Aufbaus im Sinne einer Mehrfachschneide realisiert worden. Unter Einbeziehung der Ergebnisse des IFW können sich hiermit interessante Modifikationen der Schneidenauslegung ergeben. Man kann sich z. B. vorstellen, dass zwei oder mehr unterschiedliche aber abgestimmte Teilschneiden hintereinander aufgebaut werden, um den Zerspanprozess beim Rückbau in Hinsicht auf eine höhere Effizienz zu optimieren.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Es werden eine umfangreiche Anzahl von verschiedenen Matrix – Hartstoff – Reibsegmenten hergestellt und dem Projektpartner IW Hannover zur Verfügung gestellt.

AP2: Es wird versucht, das Sinterregime weiter zu optimieren um auf Basis der Ergebnisse des IW Hannover Feldversuche entsprechend der Ergebnislage durchführen zu können.

Weiterhin wird versucht die Mehrfachschneidentechnologie unter Einbeziehung der Verschleißuntersuchungen in Hinsicht auf die kommenden Feldversuche weiter zu entwickeln.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Vortrag: KONTEC 2009, 13.-17. April in Dresden: „Innovatives Sinterkonzept zur Herstellung von neuartigen Schneidwerkzeugen für den Rückbau kerntechnischer Anlagen“

Poster: KONTEC 2009 in Dresden im Rahmen des BMBF Messestandes

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Ludwig-Maximilians-Universität München, Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 München |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8457</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Untersuchung von epigenetischen Effekten nach Bestrahlung menschlicher Zellen    |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>     |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2007 bis 30.09.2010  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>325.105,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Friedl                   |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Projektes ist eine detaillierte qualitative und quantitative Analyse von strahleninduzierten lokalen (d. h. im Bereich der geschädigten DNA) und globalen (d. h. zellkernweiten) Veränderungen in Histonmodifikations-Mustern. Dies soll das Verständnis für die Rolle epigenetischer Prozesse bei der Strahlenkanzerogenese erhöhen. Lokale Veränderungen der Histonmodifikationen sollen durch Immunnachweis an  $\gamma$ -H2AX-dekorierten Chromatinbereichen nach Ionen-Mikrobestrahlung untersucht werden. Mittels quantitativer Western-Analyse sollen zudem globale Veränderungen erfasst werden. Durch genetische Methoden und Lokalisierungsexperimente sollen Informationen zu Ursachen und Folgen der beobachteten Veränderungen gewonnen werden. An Modellsystemen mit veränderter Chromatinstruktur soll zudem der Einfluss der Chromatinstruktur auf die zelluläre Reaktionen nach Strahlenschäden analysiert werden. Die Zusammenarbeit von Strahlenbiologen, Zellbiologen und Kernphysikern soll eine interdisziplinäre Aus- und Weiterbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses für die strahlenbiologische Forschung ermöglichen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Analyse von lokalen Histonveränderungen in  $\gamma$ -H2AX-dekorierten Chromatinbereichen
- AP2: Analyse von globalen Histonveränderungen nach Ionen- und  $\gamma$ -Bestrahlung
- AP3: Charakterisierung von Ursachen und Folgen veränderter Histonmodifikationsmuster nach Bestrahlung
- AP4: Einfluss artifizieller Veränderungen der Chromatinstruktur auf die Bildung von Reparatur- und Signalfoci

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Um eine robuste Auswertemethodik für die dreidimensionale quantitative Analyse von Koloalysierung oder Contra-Lokalisierung zu etablieren, wurden verschiedene etablierte Ansätze (Pearson's correlation coefficient, Manders' overlap coefficient, intensity correlation analysis) an Datensätzen getestet (Linien und Matrixbestrahlung mit C-Ionen), bei denen visuell eine Korrelation bzw. Antikorrelation zwischen  $\gamma$ H2AX und bestimmten Histonmodifikationen festzustellen ist. Die genannten Methoden sind alle problematisch in Fällen wenn viele Pixel in beiden Farbkanälen niedrige Intensität haben, was bei Histon-modifikationen zutrifft. Im zu testenden Datensatz wurden daher bei verschiedenen gesetzten Schwellenwerten alle drei Methoden verglichen. Da sich die getesteten Methoden als wenig robust erwiesen, wird gegenwärtig an der Entwicklung weiterer Verfahren gearbeitet. In weiteren Bestrahlungs-Experimenten wurden zusätzliche Immunfluoreszenzexperimente durchgeführt, deren Auswertung erst nach der Methodenetablierung erfolgen soll. Gestestet wurde hier auf Lokalisierung der Histonmodifikationen H3K9me3, H3K9me2, H4K20me3 und H4K5Ac.
- AP2: Für die quantitative Analyse von globalen Änderungen der Histonmodifikationsmuster wurden Proteinextrakte nach Bestrahlung hergestellt. Im Falle von H3K4me3 wurde keine signifikante Änderung der Menge des modifizierten Histons nach Bestrahlung mit Dosen zwischen 6 und 100 Gy beobachtet.
- AP3: Es wurden in zwei Strahlzeiten Ionenmikrobestrahlungsexperimente mit Immunfluoreszenznachweis der Faktoren HP1- $\beta$ , CAF-1 und TIP60 in HeLa und U2OS-Zellen durchgeführt, die gegenwärtig ausgewertet werden.
- AP4: Durch quantitative Westernanalyse wurde bestätigt, dass nach Behandlung der Zellen mit TrichostatinA der 53BP1-Gehalt im Vergleich zur Ladekontrolle um ca. 80 % ansteigt. Bei Behandlung mit hypertonem Medium (750 mOsm) ist eine moderate, aber signifikante Abnahme des 53BP1-Gehaltes feststellbar, während hypotone Behandlung zu keiner Veränderung führt. Die Focibildung nach artifizierter Chromatinkondensation und -dekondensation wurde weiter untersucht.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Anhand bereits vorhandener Mikroskopiedaten sollen im nächsten Berichtszeitraum noch weitere Ansätze getestet werden. Parallel werden in weiteren Strahlzeiten Experimente zur Bestimmung lokaler Veränderungen durchgeführt.
- AP2: Im nächsten Berichtszeitraum sollen durch quantitative Westernanalyse auch die Modifikationen H3K9me3, H3K9m2, H4K20me3 und H4K5Ac untersucht werden.
- AP3: Die bereits durchgeführten Experimente zur Lokalisierung von HP1- $\beta$ , CAF und TIP60 sollen ausgewertet werden; dazu sollen in weiteren Strahlzeiten zusätzliche Experimente durchgeführt werden.
- AP4: Die Charakterisierung der Focibildung und der Proteinexpression nach artifizierter Kondensation und Dekondensation wird weitergeführt. Durch Vergleich von Kern- und zytoplasmatischen Proteinextrakten soll der Ursache für den Anstieg von 53BP1 nach TSA-Behandlung auf den Grund gegangen werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität Duisburg-Essen, Universitätsklinikum Essen, Hufelandstraße 55, 45147 Essen |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8467</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Regulationsmechanismen eukaryotischer DNA Replikation nach Bestrahlung                |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>          |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2007 bis 30.09.2010   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>445.852,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Iliakis            |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In Zellen von höheren Eukaryoten wird die DNA-Replikation genomweit 1-2 Stunden nach Bestrahlung herunterreguliert durch die Aktivierung eines ATM-abhängigen Checkpoints, wodurch die Replikoninitiation gehemmt wird, um Reparatur zu erleichtern. Unsere Arbeiten liefern Hinweise für eine zusätzliche Regulation über einen Reaktionsweg, der lokal, aber möglicherweise unmittelbar, die Replikoninitiation durch die Aktivierung einer DNA-abhängigen Proteinkinase (DNA-PKcs) hemmt. Weitere Experimente deuten darauf hin, dass diese Kinase an der Erholung von der ATM-vermittelten Hemmung der DNA-Replikation beteiligt ist. Ziel dieses Vorhabens ist zu untersuchen, ob die DNA-PKcs:

- Einen unmittelbaren und direkten Mechanismus für die Hemmung der Replikoninitiation darstellt;
- Ein Schlüsselfaktor in dem Anpassungsprozeß ist, der für die Erholung von der ATM-induzierten Hemmung der DNA-Replikation notwendig ist;
- Seine Funktion durch spezifische Phosphorylierung umschaltet, wenn DSBs registriert werden, und von einem Aktivator der DNA-Replikation zu einem wirkungsvollen Inhibitor wird.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP3.1: Aufreinigung von TAg, DNA-PK, DNA-PKcs, RPA und Topo I  
 AP3.2: Etablierung eines in vivo und in vitro DNA-Replikations-Initiationstests und Anwendung in verschiedenen Zelllinien  
 AP3.3: Überprüfung funktionaler Veränderungen im TAg durch DNA-PK  
 AP3.4: ATM-Aktivitätsmessungen nach Bestrahlung in verschiedenen Zelllinien  
 AP3.5: Alkalische Saccharose Gradientenzentrifugation für Messungen von Replikationsinitiation  
 AP3.6: Effekte von Koffein, Wortmannin und KU55933 auf strahleninduzierte Replikationsinhibition  
 AP3.7: Präinitiationstestverfahren und die Rolle von DNA-PK an der Replikationsgabel zu testen  
 AP3.8: Modulation der DNA-PK-Aktivität durch Phosphorylierung und Charakterisierung der DNA-PK Autophosphorylierung AP3.9.  
 AP3.10: Kooperation von Ku und DNA-PKcs in DNA-PKcs Autophosphorylierung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

**Zum Ziel 1:** Im Rahmen dieser Zielsetzung wurde die Zelllinie Pab419 im Labor etabliert und kultiviert. Mit Hilfe dieser Zellen konnten TAg-spezifische Antikörper produziert, isoliert und aufgereinigt werden, die im weiteren Verlauf des Projektes für die Isolierung des SV40-TAg verwendet werden.

**Zum Ziel 2:** *Inhibition der Replikation nach Bestrahlung:* Im Rahmen dieser Zielsetzung konnte nachgewiesen werden, dass DNA-PKcs profiziente Zellen 1-1,5 Stunden nach Bestrahlung mit einer Dosis von 10 Gy eine deutliche, bis zu 70 % ige Inhibition der DNA-Synthese zeigten. Weiterhin konnte beobachtet werden, dass 4-6 Stunden nach Bestrahlung eine komplette Wiederherstellung der DNA-Synthese (und damit eine Erholung der Inhibition) stattgefunden hat. Die entsprechenden Ergebnisse wurden mit humanen Zellen (M059K, ATRkd), chinesischen Hamsterzellen (CHO10B4, K147, XRS6) sowie mit embryonalen Mausfibroblastzellen (Ligase IV<sup>-/-</sup>) erhalten. Weiterhin konnte bei DNA-PKcs defizienten Zellen im Rah-

men dieser Zielsetzung ebenfalls eine Inhibition der DNA-Synthese nachgewiesen werden. Diese Inhibition konnte über einen Zeitraum von bis zu 12 Stunden beobachtet werden; eine Erholung wurde, im Gegensatz zu DNA-PKcs profizienten Zellen jedoch nicht nachgewiesen. Die entsprechenden Resultate wurden bisher mit humanen Zellen (M059J) und chinesischen Hamsterzellen (IRS20, XRC1-3) erzielt. Diese Ergebnisse bestätigen die Funktion von DNA-PKcs in der Erholungsphase der DNA Replikation.

*Inhibition von ATM durch KU55933:* Um festzustellen, ob ATM in DNA-PKcs defizienten Zellen nach Bestrahlung aktiv bleibt und dadurch die beobachtete persistente Inhibition der DNA-Synthese auslöst, wurde diese Kinase mit dem spezifischen Inhibitor KU55933 inhibiert. Es konnte gezeigt werden, dass die Applikation dieses spezifischen Inhibitors zu einer schwachen Erholung der Replikationsinhibition führte und damit nur einen marginalen Effekt auf die Erholung der DNA-Synthese hatte. Ein Effekt dieses Inhibitors auf DNA-PKcs profiziente Zellen konnte nicht beobachtet werden. Das ist ein weiterer Hinweis für die besondere Funktion von DNA-PKcs in dem Phänomen der Replikationserholung.

*Inhibition von ATM und ATR durch Koffein:* Nach Behandlung von DNA-PKcs defizienten Zellen mit Koffein konnte gezeigt werden, dass die Applikation dieses Inhibitors zu einer vollständigen Erholung der Replikationsinhibition führte und damit einen starken Effekt auf die Erholung der DNA-Synthese hatte. Bei DNA-PKcs profizienten Zellen konnte darüber hinaus eine leichte Abschwächung der Inhibition der DNA-Synthese und eine im Vergleich zu unbehandelten Zellen leicht beschleunigte Erholung der Replikationsinhibition nachgewiesen werden. Diese Resultate konnten sowohl nach einer Behandlung der Zellen mit Koffein vor Bestrahlung als auch, in separaten Experimenten, nach einer Behandlung der Zellen mit Koffein 1 Stunde nach Bestrahlung erzielt werden.

Die Ergebnisse lassen an dieser Stelle den Schluss zu, dass die Präsenz von DNA-PKcs offensichtlich essentiell für eine Erholung strahlungsinduzierter Replikationsinhibition ist. Darüber hinaus ist eine andauernde Aktivität von ATM offensichtlich nicht, wie bislang vermutet, für eine persistente Replikationsinhibition verantwortlich. Da auf der anderen Seite die Inhibition von ATR zu einer vollständigen Aufhebung der Replikationsinhibition führt, kann eine neue Hypothese aufgestellt werden, nämlich dass wahrscheinlich diese Kinase infolge einer andauernden (Hyper-) Aktivierung einen großen Einfluss auf die Erholung strahlungsinduzierter Replikationsinhibition von DNA-PKcs defizienten Zellen ausübt. Diese neue Hypothese muss nun mit weiteren Experimenten untermauert werden um uns dann auf die Funktion von ATR in diesem Prozess zu konzentrieren.

*Inhibierung von DNA-PKcs mit dem spezifischen Inhibitor NU7026:* Darüber hinaus konnte eine artifizielle DNA-PKcs-Defizienz durch die Zugabe des spezifischen Inhibitors NU7026 bei solchen Zellen generiert werden, die natürlicherweise DNA-PKcs profizient sind. Es konnte nachgewiesen werden, dass eine solche künstlich erzeugte Defizienz zu einer deutlichen und lang anhaltenden Inhibierung der DNA-Replikation führte, deren Kinetiken mit solchen von DNA-PKcs defizienten Zellen vergleichbar waren. Diese Experimente sind besonders wichtig, da sie uns Möglichkeiten geben, viele Mutanten mit intakter DNA-PKcs Funktion an unseren Versuchen heranzuziehen.

*Sucrosegradientenzentrifugation:* Messungen der Initiationsereignisse der DNA-Replikation über Sucrosegradientenzentrifugation befinden sich zurzeit in der Etablierung.

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

Für das nächste Jahr ist geplant, die Experimente des Zieles 2 abzuschließen und zu publizieren. Gleichzeitig wird der Effekt von ATR auf die DNA Replikation untersucht und das *in vitro* DNA Replikationssystem für unsere Fragestellung etabliert. Schließlich werden die Vorbereitungen für Ziel 3 getroffen im Sinne von Reagenziengewinnung, die für die geplanten Untersuchungen notwendig sind.

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

S. Raschke, J. Guan und G. Iliakis: Application of Alkaline Sucrose Gradient Centrifugation in the Analysis of DNA Replication after DNA Damage. In: Methods in Molecular Biology – DNA Replication. Humana Press, USA, im Druck.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe                             |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8477</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Regulation der Nicht-homologen Endverknüpfung durch post-translationelle Modifikationen |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>            |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2007 bis 30.09.2010   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>799.901,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Puchta             |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

### *Gesamtziel:*

- Analyse von Signalwegen, welche die Doppelstrangbruchreparatur beeinflussen.
- Ermittlung der Bedeutung von Signaltransduktionsvorgängen für die Doppelstrangbruchreparatur

### *Bezug zu förderpolitischen Zielen:*

- Das Vorhaben dient dem Kompetenzerhalt und der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses

### *Wissenschaftliche und/oder technische Ziele:*

- Analyse von Reparaturfaktoren auf post-translationelle Modifikationen
- Analyse der Auswirkungen der post-translationellen Veränderungen auf die Assoziation mit anderen Reparaturfaktoren
- Analyse der Auswirkungen der post-translationellen Veränderungen auf die Doppelstrangbruchreparatur

### *Bezug zu anderen Arbeiten:*

- Untersuchungen zur zellulären Strahlenreaktion bilden einen Forschungsschwerpunkt in der Arbeitsgruppe Blattner am Institut für Genetik. In den nächsten Jahren soll dabei besonders die Doppelstrangbruchreparatur untersucht werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Analyse von NHEJ Proteinen auf strahlenbedingte Veränderungen der Phosphorylierung

AP2: Kartierung der Phosphorylierungsstellen

AP3: Bestimmung der phosphorylierenden Kinasen

AP4: Auswirkungen der Phosphorylierung auf Protein-Protein Wechselwirkungen



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

Die Arbeit des ursprünglich für dieses Projekt eingesetzten Nachwuchswissenschaftlers hatten wir vor diesem Berichtszeitraum zur Veröffentlichung eingereicht. Sie wurde von den Gutachtern zwar als interessant eingestuft, jedoch abgelehnt. Wir beschlossen daraufhin weitere unterstützende Arbeiten durchzuführen, um die Chance auf eine Publikation in einem guten Journal zu erhöhen. Dazu untersuchten wir Pin1 auf eine Assoziation mit Foxo3, Aven, ATM und gamma-H2AX. Außerdem prüften wir, ob Pin1 an DSB-Foci akkumuliert. Nachdem der ursprünglich für dieses Projekt eingesetzte Nachwuchswissenschaftler die Gruppe verlassen hatte, hat der neu eingestellte Doktorand die Ergebnisse stichprobenartig wiederholt. Dabei stellte sich heraus, dass die erzielten Ergebnisse nicht reproduzierbar waren. Wir haben die Diskrepanz im Folgenden intensiver untersucht. Leider hat sich am Ende herausgestellt, dass die gesamten zuvor produzierten Datensätze nicht der Realität entsprechen.

Daneben haben wir den NHEJ-Faktor XLF weiter untersucht. In Gegenwart des Proteasominhibitors MG132 sehen wir nun eine deutliche und reproduzierbare Poly-Ubiquitylierung von XLF. Entgegen der Erwartungen führt diese Ubiquitylierung jedoch nicht zum Abbau des Proteins im Proteasom. Stattdessen ist das Protein außerordentlich stabil. In unbestrahlten Zellen zeigte es eine Halbwertszeit von mehr als 24 Stunden. In Übereinstimmung mit dem Fehlen eines proteasomalen Abbaus stellten wir fest, dass die Poly-Ubiquitylierung von XLF nicht über Lysin 48 von Ubiquitin erfolgt, sondern hauptsächlich über Lysin 6. Kettenbildung über Lysin 6 wurde schon früher mit der DNA-Reparatur in Verbindung gebracht, was wir auch im Falle von XLF vermuten.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im nächsten Halbjahr werden wir uns zum einen die Assoziation zweier, an der NHEJ-Reparatur beteiligten Proteine, anschauen: Neuere Untersuchungen zeigen eine Beteiligung von BRCA1 an dieser Reparaturform. Interessanterweise assoziiert BRCA1 mit dem Ku80 Protein, allerdings nur nach Bestrahlung. Es ist ferner bekannt, dass sowohl BRCA1 als auch Ku80 in Gegenwart von Doppelstrangbrüchen phosphoryliert werden. Hier werden wir untersuchen, ob die Assoziation nach ionisierender Strahlung von der Phosphorylierung abhängt und welche der Phosphorylierungen dazu notwendig sind.

Daneben werden wir die Analyse der XLF-Modifikation fortsetzen. Wir werden versuchen sie zu kartieren und ihre Bedeutung für die Reparatur von Doppelstrangbrüchen nachzuweisen. Dazu werden wir in Frage kommende Lysine im XLF-Protein durch Arginin ersetzen und das mutierte XLF auf eine Assoziation mit weiteren Reparaturfaktoren testen.

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

Keine.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8487</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Konstruktion, Herstellung, Beschichtung, Prüfung und Handhabung langzeitstabiler Gebinde zur sicheren Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2007 bis 30.09.2010   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>931.686,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Bach               |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Qualifizierung einer Prozesskette für die Herstellung von Gebinden zur Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen, die eine langfristige Integrität der Behälter insbesondere hinsichtlich Werkstoffauswahl, konstruktiver Auslegung, Fertigung und Korrosionsschutz gewährleistet und somit eine sichere Handhabung, einen sicheren Transport sowie eine sichere Lagerung der Gebinde ermöglicht. Die zu den einzelnen Aspekten erzielten Vorhabensergebnisse sollen im letzten Vorhabensabschnitt zur Herstellung eines Demonstrators in Form eines 200-l-Muster-Behälters führen.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Geplante Arbeitsschritte sind:

AP1: Evaluation der Prozesskette am Beispiel 200-l-Gebinde

AP2: Konstruktion eines 200-l-Abfallbehälters

AP3: Versuche zur Fügetechnik

AP4: Entwicklung und Applikation von Korrosionsschutzschichten

AP5: Korrosions- und Klimaprüfungen

AP6: Metallografische Analytik

AP7: Herstellung eines 200-l-Musterbehälters

AP8: Berichterstellung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Unter Verwendung der im Rahmen dieses Vorhabens beschafften MIG-/MAG-Schweißanlage wurden im ForceArc®-Verfahren Schweißverbindungen für den Konstruktionsteil Behälterboden gefertigt. Hierzu wurden mehrlagige Blechverbindungen aus unlegiertem Qualitätsstahl

mit dem Schweißzusatzwerkstoff SG 2 durchgeschweißt. Für eine reproduzierbare Prozessführung und eine hohe Schweißnahtqualität wurden relevante schweißtechnische Parameter wie Drahtvorschub, Schutzgaszufuhr, Stromstärke und Pulsung variiert. Die Ermittlung geeigneter Schweißparameter erfolgte durch Auswertung metallografischer Schliffe. Diese wurden aus repräsentativem Probenmaterial gefertigt und durch Licht- sowie Rasterelektronenmikroskopie analysiert.

Vom Kooperationspartner Eisenwerk Bassum mbH wurden Schweißpläne der im Betrieb zum Einsatz kommenden Schweißverbindungen zur Verfügung gestellt. Anhand dieser Schweißpläne wurden unter Verwendung der im Betrieb vorhandenen MIG-/MAG-Schweißanlagen exemplarische Schweißverbindungen gefertigt und am Institut für Werkstoffkunde dokumentiert sowie metallografisch analysiert. Diese Proben dienen als Referenz für die weitere Entwicklung sowie den angestrebten Transfer der innovativen Schweißprozesse ColdArc® und ForcArc® in die betriebliche Praxis.

Zur Beurteilung der Beständigkeit der Werkstoffe wurden Korrosions- und Klimaprüfungen durchgeführt. Hierzu wurden mit Korrosionsschutz beschichtete sowie verzinkte Blechproben aus unlegiertem Qualitätsstahl verwendet und definiert vorgeschädigt (z. B. durch Einbringen von Kratzern). Die Auswirkungen eines korrosiven Angriffs auf den Grundwerkstoff und somit auf die angestrebte langzeitstabile Integrität eines Behälters wurde durch Ermittlung mechanischer Kennwerte nach DIN EN 10002 im Zugversuch ermittelt. Während die Auslagerung der Proben in der Klimakammer bei 80 °C und 98 % relativer Luftfeuchtigkeit auch nach acht Wochen noch keine signifikante Änderung bewirkte, führte die Belastung der Proben in der Korrosionsprüfung gemäß DIN EN ISO 9227 im gleichen Zeitraum zu einer drastischen Verringerung der Zugfestigkeit sowie der Bruchdehnung des Grundwerkstoffs (unlegierter Qualitätsstahl).

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

Die Schweißversuche zum stoffschlüssigen Fügen des Behälterbodens im ForceArc® werden fortgesetzt. Zudem werden Schweißversuche zum Fügen des Behältermantels durch den energiearmen ColdArc®-Prozess durchgeführt. Zur Beurteilung der Qualität der Schweißverbindungen sowie zur Ermittlung der erforderlichen Schweißparameter werden repräsentative Proben metallografisch analysiert. Die Festigkeit der einzelnen Schweißnähte wird durch mechanische Prüfungen ermittelt, die Korrosionsbeständigkeit durch Auslagerung in verschiedenen korrosiv wirkenden Medien untersucht.

Die Korrosions- und Klimaprüfungen zur Beurteilung des Langzeitverhaltens der verwendeten Werkstoffe werden unter Verwendung verschiedener Korrosionsschutzsysteme fortgesetzt. Darüber hinaus soll das Langzeitverhalten von Korrosionsschutzsystemen auf Polymerbasis durch Alterung mittels Sonnenlichtsimulation untersucht werden.

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

Jendras, M.; Bach, Fr.-W.; Hassel, T.: „Corrosion-resistant drums for low/medium-level radioactive waste“, in: EUROCORR 2008 - "Managing Corrosion for Sustainability" (Edinburgh, 07.-11.09.2008), S. 272 (book of abstracts) sowie pdf-Dokument 1408 (Tagungs-CD, 9 Seiten).

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Planckstraße<br>1, 64291 Darmstadt                                  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><br><b>02 S 8497</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Induktion und Transmission von genetischen Schäden nach Hoch-LET Bestrahlung: In vivo und in vitro Untersuchungen |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>                                      |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2007 bis 30.09.2010   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>972.499,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Ritter                   |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Die derzeitige Abschätzung des Gesundheitsrisikos dicht ionisierender Strahlung ist mit großen Unsicherheiten behaftet - vor allem in Bezug auf Kanzerogenese und genetische Mutationen. Dies beruht unter anderem darauf, dass es auf molekularer Ebene weder eine genaue mechanistische noch eine theoretische Modellierung dieser Effekte gibt. Ziel unseres interdisziplinären Forschungsvorhabens ist es, zu einer realistischen Bewertung des genetischen Risikos dicht ionisierender Strahlung beizutragen. Hierbei werden genetische Veränderungen wie zum Beispiel strukturelle Chromosomenaberrationen untersucht, die ein Charakteristikum von Krebszellen sind. Weiterhin soll das Forschungsvorhaben klären, welche Rolle den Telomeren bzw. den radikalischen Verbindungen bei der Entstehung der genetischen Instabilität zukommt, die ein Schlüsselmechanismus in der Entwicklung von Normalgewebszellen zu Krebszellen ist. Das Projekt hat darüber hinaus das Ziel, den wissenschaftlichen Nachwuchs in der Strahlenforschung auszubilden und zu fördern und somit zum Kompetenzerhalt beizutragen. Um dieses Ziel zu erreichen, erhalten die am Forschungsvorhaben beteiligten Studenten und jungen Nachwuchswissenschaftler eine intensive strahlenbiologische Aus- bzw. Weiterbildung und in Vorlesungen und Praktika wird um potentiellen wissenschaftlichen Nachwuchs geworben.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Erzeugung genetischer Schäden in humanen hämatopoetischen Zellen durch Ionenstrahlen (GSI).
- AP2: Analyse der genetischen Stabilität/Instabilität normaler menschlicher Fibroblasten (GSI).
- AP3: Rolle reaktiver Spezies und der endogenen antioxidativen Kapazität bei der Entstehung genetischer Instabilität in den Nachkommen von bestrahlten menschlichen Fibroblasten (Technische Universität Darmstadt (TUD); GSI).
- AP4: Rolle der Telomere für die Entstehung genetischer Instabilität (Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ); GSI).
- AP5: Chromosomenschäden in Lymphozyten von Prostatakarzinompatienten sowie in Prostatakarzinomzelllinien (Universitätsmedizin Göttingen (UMG); GSI).

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Zur Vervollständigung der Datenbasis wurden Lymphozyten und hämatopoetische Stamm- und Progenitorzellen (HSPCs) von gesunden Spendern in vitro mit 100 MeV/u Kohlenstoffionen und Röntgenstrahlen bestrahlt (0-4 Gy). Chromosomenschäden wurden in Metaphasezellen mit der Giemsa-Färbung und der mFISH Technik ausgewertet. Wie erwartet wurde für beide Strahlenarten eine dosisabhängige Induktion von chromosomalen Aberrationen gefunden. Die Relative Biologische Wirksamkeit (RBW) beträgt für die verwendeten Kohlenstoffionen 1.4-2.0.
- AP2: Im Rahmen eines weiteren Mikrostrahl-experiments mit Kohlenstoffionen wurden chromosomale Aberrationen und Apoptose in den Nachkommen von Zellen, die mit exakt einem Teilchendurchgang pro Zellkern bestrahlt worden waren, untersucht. Entsprechend wurde ein Röntgenexperiment durchgeführt. Wie in den vorangegangenen „Broadbeam“-Experimenten wurde chromosomale Instabilität beobachtet. Weiterhin wurden die am Mikrostrahl verwendeten Kammern und die am Beschleuniger UNILAC eingesetzten Zellkulturgefäßen verglichen. Im Hinblick auf die Zellinaktivierung ergaben sich keine Unter-

schiede zwischen beiden Systemen. Schließlich wurden in einem ersten Mikrostrahllexperiment (4.8 MeV/u Nickel) das Zellüberleben sowie die Induktion von genetischen Veränderungen in AG1522 Zellen gemessen und in Vorversuchen die Akkumulation von reaktiven Sauerstoff-Spezies (ROS) nach Röntgenbestrahlung quantifiziert.

- AP3: Die Untersuchung von genetischer Instabilität und Seneszenz nach Bestrahlung mit Röntgenstrahlen und Kohlenstoffionen wurde auf Fibroblasten aus der Haut (NHDF) bzw. der Lunge (WI38) ausgedehnt. Erste Untersuchungen mit NHDF Zellen zeigen, dass diese direkt nach Bestrahlung eine große Anzahl an Chromosomenschäden aufweisen, die nach etwa 3 Wochen auf das Niveau der Kontrolle absinkt. Nach mehreren Wochen steigt sowohl in den Nachkommen der bestrahlten Zellen als auch der unbestrahlten Kontrolle die Aberrationsrate an. Eine gegenüber der Kontrolle erhöhte Rate an Chromosomenschäden, wie sie in AG1522D Zellen (Vorhautfibroblasten) beobachtet wurde, trat in den bisher analysierten Proben nicht auf.
- AP4: In weitergehende Untersuchungen sollen auch Fibroblasten, die Telomerase-negativ sind (VH7) bzw. das Enzym Telomerase exprimieren (VH7-TERT) eingesetzt werden. Letztere sind in der Lage, wie Tumorzellen ihre Telomere zu stabilisieren. Die entsprechende Fibroblastenstämme wurden aufgetaut, vermehrt und jeweils ca. 20 Röhren wieder eingefroren. Diese Zellen stehen nun den verschiedenen Gruppen für Versuche zur Verfügung. Ein erstes gemeinsames Experiment (GSI/DKFZ) zur Bestimmung der Überlebensrate nach Bestrahlung wurde geplant. Um zu ermitteln, ob die Telomere die Targetstruktur für die Strahlenschädigung sind, wurden die Telomerlängen von Fibroblasten in einem Röntgenexperiment bis zu 3 Tage nach Bestrahlung gemessen. In bestrahlten Zellen kam es dosisabhängig zu einer leichten Verkürzung der Telomere. Zur Validierung dieses Befundes wurde ein neues Experiment geplant.
- AP5: Die Analyse von Chromosomenschäden in Lymphozyten von Prostatakarzinompatienten mit der mFISH- und mBAND Methode wurde fortgesetzt und 2 weitere Patienten in die Studie rekrutiert. Darüber hinaus wurden in ersten Versuchen humane Prostatakarzinomzellen (PC-3, Du-145) mit Röntgenstrahlung oder Kohlenstoffionen (extended Bragg Peak) bestrahlt. Kohlenstoffionen erwiesen sich in Bezug auf die Zellinaktivierung als viel effektiver.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: In weiteren Experimenten soll die Induktion von chromosomalen Aberrationen in Lymphozyten und hämatopoetischen Stamm- und Progenitorzellen (HSPCs) nach einer extended Bragg Peak Bestrahlung mit Kohlenstoffionen (114-158 MeV/u) untersucht werden. Darüber hinaus soll in den überlebenden Tochterzellen das Auftreten von klonalen Aberrationen mittels der mFISH Technik gemessen werden.
- AP2: Das klonogene Überleben und die Apoptoserate sollen in einem weiteren Mikrostrahllexperiment (Kohlenstoffionen) geprüft werden. Um zu klären, ob die RBW für Langzeiteffekte von der Verteilung der DNA-Schäden innerhalb der Zellkerne abhängt, soll ein Experiment mit 1 GeV/u Eisenionen, die einen ähnlichen LET aber einen viel größeren Spurdurchmesser als 10 MeV/u Kohlenstoffionen aufweisen, durchgeführt werden.
- AP3: Die Langzeitkulturen werden weiter geführt. In den Nachkommen bestrahlter Zellen sollen Veränderungen des mitochondrialen Proteoms, Telomerlängen, chromosomale Aberrationen, Apoptose, Differenzierung und Veränderungen von Markerproteinen (p16, p21, p53) untersucht werden.
- AP4: Laufende Untersuchungen zur Veränderung der Telomerlängen werden fortgeführt. Weiterhin sollen die VH7 und VH7-TERT Fibroblasten charakterisiert werden (Telomerlänge, Telomerase Aktivität, Differenzierungsverhalten, spontane Aberrationsrate sowie Zellüberlebensrate nach Bestrahlung).
- AP5: Die Analyse von Chromosomenschäden in Lymphozyten von Prostatakarzinompatienten wird fortgesetzt und eine erste Publikation vorbereitet. Die Untersuchungen der Strahlenempfindlichkeit von PC-3 Tumorzellen gegenüber Röntgenstrahlung und Kohlenstoffionen werden wiederholt, um die Reproduzierbarkeit der Daten zu überprüfen und einige Dosispunkte zu ergänzen.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Becker, D. et al.: Strahlenempfindlichkeit von hämatopoetischen Stammzellen nach Bestrahlung mit Röntgenstrahlung und Kohlenstoffionen. *Experimentelle Strahlentherapie und Klinische Strahlenbiologie* 17, 87-90 (2008).
- Conrad, S. et al.: Differential effects of irradiation with Carbon ions and X-rays on macrophage function. *Journal of Radiation Research* (eingereicht).
- Fournier, C. et al.: No evidence for DNA and early cytogenetic damage in bystander cells following heavy ion micro-irradiation at two facilities. *Radiation Research* (im Druck).
- Ritter, S. et al.: Cytogenetic damage induced by high and low LET radiation: Follow up of prostate cancer patients, *Radiotherapy and Oncology*, 88 (Supplement 2), 471-472 (2008).

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>TU München, Arcisstraße 21, 80333 München   |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8507</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verfahren zur selektiven Tritium-Extraktion aus wässrigen Abfalllösungen und langzeitstabilen Bindung auf einem Träger |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2007 bis 30.09.2010  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>583.747,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Türler             |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das radioaktive Wasserstoffisotop Tritium, kann bisher nicht selektiv aus Wasser extrahiert werden. Dadurch entsteht bei tritiumhaltigen Prozesslösungen, die beim Rückbau kerntechnischer Anlagen in großen Mengen anfallen, ein akutes Großvolumen-Überwachungsproblem. Ein spontan erfolgender Tritium-Übergang in die Atmosphäre, durch den stattfindenden Isotopenaustausch zwischen Wassermolekülen in flüssigem und gasförmigem Zustand, verkompliziert die Handhabung der meist hochaktiven Prozesslösungen zusätzlich. Bei Untersuchungen zur elektrolytischen Akkumulation von Tritium in wässrigen Lösungen, unter dem BMBF Förderkennzeichen 02S8142, wurden wiederholt hohe Tritium-Separationsfaktoren von bis zu 20 gemessen. Im Rahmen dieses Vorhabens des Instituts und Lehrstuhls für Radiochemie, TU München, sollen weitere Untersuchungen über die beobachtbaren Anreicherungsphänomene durchgeführt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Etablieren eines Referenzsystems als absoluten Bezugspunkt der Separationsfaktoren (Elektrolyse).
- AP2: Präzisierung der Separationsfaktoren unterschiedlicher Metalle in Bezug auf das Referenzsystem.
- AP3: Optimierung der Prozessbedingungen für die bestgeeigneten Elektrodenmaterialien (Elektrolyse).
- AP4+5: Bestimmung des Rückhaltevermögens und der Verteilungsfaktoren anorganischer und organischer H-Rezeptoren.
- AP6: Zusammenführung der Projektzweige zur „aktiven“ und „passiven“ Tritium-Anreicherung.
- AP7: Optimierung des Verfahrens unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten.
- AP8: Abschlussbericht und Dokumentation.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Nach Anpassung der Elektrolysezelle an die Anforderungen für den Betrieb der Anlage im Continuousfeed-Modus wurden unterschiedliche Methoden zur Konstanthaltung des Elektrolytvolumens während des laufenden Prozesses untersucht. Eine Evaluierung der Ergebnisse erfolgte hierbei anhand der Übereinstimmung des Verlaufs der erhaltenen Tritium-Anreicherungskurve im Hinblick auf das Rechenmodell einer elektrolytischen Aufarbeitung im Continuousfeed Modus. Es gelang einen kostengünstigen, passiven hoch präzisen Zulaufmechanismus zu entwickeln. Basierend auf den bisher gewonnen Erkenntnissen wurde anschließend eine fünf Kompartimente umfassende Zelle aufgebaut. Auch die mit diesem neuen System durchgeführten Experimente zeigen eine hervorragende Übereinstimmung mit dem Rechenmodell einer elektrolytischen Tritium-Anreicherung im Continuousfeed-Modus. Unter Verwendung von Eisen als Anodenmaterial und Platin als Kathodenmaterial konnte ein Tritium-Separationsfaktor von  $17 \pm 1$  gemessen werden, was exakt der Vorhersage entsprach. Die Entwicklung der Elektrolyseanlage kann somit in Hinblick auf die unterschiedlichen Betriebsmodi (Batch-, Continuousfeed-Modus) als abgeschlossen betrachtet werden. Neben dem direkten Nachschalten eines Intensivkühlers in den Abluftstrom der Zelle wird das dem System entweichende Gasgemisch nun zusätzlich durch eine am Rückfluss erhitze (ca. 60 °C), zum Startzeitpunkt der Elektrolyse inaktive Kontrolllösung geleitet. Hierdurch wird eine vollständige Abscheidung des Tritiums (HTO) in der Lösung erreicht. Die auf diese Weise erfolgende Bestimmung der Tritium-Emission durch kontinuierliche LSC-Messung einzelner Proben während des laufenden Experimentes zeigt einen mit zunehmender Elektrolysedauer exponentiell ansteigenden Aktivitätsverlauf. Eine diesem Rückhaltesystem vor geschaltete Einheit zur Rekombination von HT, H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> zu HTO und H<sub>2</sub>O befindet sich derzeit noch im Aufbau. In der Literatur finden sich Hinweise darauf, dass durch Zusatz bestimmter Kobalt und/oder Kaliumsalze eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz elektrolytischer Prozesse erzielt werden kann. Aus diesem Grund werden derzeit für die elektrolytische Aufarbeitung potentiell relevante Substanzen mittels Kryosublimation auf ihre Tritium-Affinität hin untersucht. Nach Auswertung der Ergebnisse wird ein Zusatz zum Elektrolyten geprüft.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

In den folgenden Experimenten soll der elektrodenmaterialspezifische Tritium-Separationsfaktor von Eisen präzisiert werden. Beruhend auf früheren Messergebnissen wird hierzu das Tritium-Aktivitätsverhältnis zwischen Elektrolytlösung und Feedlösung zu Beginn des Experimentes dem Tritium-Separationsfaktor von Eisen entsprechend eingestellt und die Anlage somit in den Gleichgewichtszustand versetzt. Neben der Bestätigung früherer Messdaten soll hierbei die Konstanz der Wasserstoffisotopen-Trennleistung über einen längeren Zeitraum hin untersucht werden. Eine wichtige Einflussgröße stellt hierbei die Temperatur dar. Bisher gelingt es diese über einen langen Zeitraum hin konstant zu halten (~ 18 °C), jedoch ist auf Grund des erheblichen, negativen Einflusses hoher Temperaturen (> 5 °C) auf den Tritium-Separationsfaktor im Zuge der Optimierung der Wasserstoffisotopen-Trennleistung des Elektrodenmaterials eine Modifikation des derzeit verwendeten Kühlsystems erforderlich. Hierbei soll zugleich der Einfluss der Temperatur auf den Tritium-Separationsfaktor experimentell erfasst und dokumentiert werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8517</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Uranaufnahme  |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen               |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2007 bis 30.09.2010                                     | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>253.992,00 EUR                                      | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Kothe              |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben dient der Identifizierung von Transportproteinen zur Uranaufnahme in lebende Zellen. Dabei werden einerseits Bakterien untersucht, die eine hohe Mutationsrate und metabolische Diversität besitzen und für die Uranaufnahme in die Zelle nachgewiesen ist. Isolierte Gene könnten für die Erzeugung gentechnisch veränderter Pflanzen zur Phytoextraktion genutzt werden. Andererseits werden Pilze mit bekannt hoher Akkumulation von Radioisotopen untersucht. Die Identifizierung von Transportern in diesem System könnte dazu dienen, die entsprechenden Homologen in Pflanzen zu suchen, so dass die Verwendung natürlicher, nicht gentechnisch veränderter Pflanzen zur Phytoextraktion möglich wäre, da Pilze als eukaryontische System verwandte Mechanismen besitzen können.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Arbeiten werden in Teilzielen verfolgt:

- AP1: Identifizierung der Bindungs- und Ablagerungsorte für Uran in Bakterien inklusive der Analyse der vorliegenden Uranverbindungen auf molekularer Ebene.
- AP2: Identifizierung der Bindungs- und Ablagerungsorte für Uran in Pilzen inklusive der Analyse der vorliegenden Uranverbindungen auf molekularer Ebene.
- AP3: Identifizierung des Urantransportsystems in Bakterien und Pilzen sowie Charakterisierung der transport- und bindungsrelevanten Proteine.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Insbesondere gab es durch die Genomsequenz von *Schizophyllum* Fortschritte, die uns nunmehr zur Verfügung steht (sie wird in ca. einem halben Jahr auch öffentlich verfügbar sein). Wir waren daher in der Lage, die Expression unter verschiedenen Bedingungen zu testen und haben dazu Kulturen angezogen, in denen der Pilz auf Sickerwasser wächst, das neben Uran andere Schwermetalle in erhöhter Konzentration enthält. Diese Kulturen haben wir mit verschiedenen Stadien aus dem Lebenszyklus des Pilzes auf normalen Kulturmedien verglichen. Die ersten Auswertungen der Mikroarrays liegen uns vor, wir werden nunmehr spezifisch regulierte Gene identifizieren und weiter analysieren. *In silico* konnten wir Transporter verschiedener Klassen im Pilz identifizieren (z. B. MATE: Multidrug and toxic extrusion), die auf ihre spezifische Wirkung in der Uranaufnahme untersucht werden sollen. Nach Anzucht in Uran-haltigen Medien wurde die Expression der Transporter in Mikroarrays untersucht. Ein Transporter, der unter diesen Bedingungen im Vergleich zur Kontrolle in reinem Medium höher exprimiert wird, ist wahrscheinlich an der Uranaufnahme oder am Transport von Uran beteiligt. Dies wäre der erhoffte Durchbruch in der Beschreibung von Uran-Aufnahme und Uran-Export in eukaryontischen Zellen, da dann eine Übertragbarkeit der Ergebnisse in andere Systeme leicht überprüft werden kann.



Zur Identifizierung der bindungsrelevanten Zellkomponenten in Bakterien wurden Sorptionsexperimente unter definierten Bedingungen mit den Referenzstämmen *Arthrobacter oxygen* and *Arthrobacter nicotinae* im pH Bereich von 4-8 durchgeführt. Die höchsten Sorptionskapazitäten von ca. 80 % wurden bei pH 5 und 6 gefunden und eine Abhängigkeit der Überlebensrate von der Kontaktzeit nachgewiesen. Über derzeit laufende fluoreszenzspektroskopische Untersuchungen der kontaminierten Biomasse und ergänzender chromatographischer Verfahren wird versucht, bindungsrelevante Verbindungen der Zelloberfläche als auch intrazelluläre Bindungspartner im Vergleich zum Haldenisolat zu charakterisieren. Die TRLFS-Untersuchungen befinden sich in der Auswertung. Zusätzlich wurden die Bindungsexperimente mit dem *Arthrobacter*-Isolat unter definierten Bedingungen wiederholt und befinden sich ebenfalls in der Auswertung.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Es konnten die Meilensteine 1 (Lokalisierung bindungsrelevanter Zellkomponenten in Bakterien) und 2 (in Pilzen, s. o. fast abgeschlossen) erreicht werden.
- Die Meilensteine 3 bis 5 werden im Juni 2009, Dezember 2009 und September 2010 angestrebt.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Schmidt A, Haferburg G, Schmidt A, Merten D, Gherghel F, Büchel G, Kothe E, 2008. Heavy metal resistance to the extreme: *Streptomyces* strains from a former uranium mining area. *Chemie der Erde*, in press.

Dimkpa C, Svatos A, Merten D, Büchel G, Kothe E, 2008. Hydroxamate siderophores produced by *Streptomyces acidiscabies* E13 bind nickel and promote growth in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under nickel stress. *Can. J. Microbiol.* 54, 163-172.

Albarraçín VH, Winik B, Kothe E, Amoroso MJ, Abate CM, 2008. Copper bioaccumulation by the actinobacterium *Amycolatopsis* sp. AB0. *J. Basic Microbiol.*, in press. Epub 13.08.08.

Haferburg G, Klöß G, Schmitz W, Kothe E, 2008. „Ni-struvite“ – a new biomineral formed by a nickel resistant *Streptomyces acidiscabies*. *Chemosphere* 72, 517-523.

Dimkpa C, Svatos A, Dabrowska P, Schmidt A, Boland W, Kothe E, 2008. Relationship between selected heavy metals and the simultaneous production of auxins and siderophores by *Streptomyces* ssp. *Soil Biol. Biochem.* 41, 154-162.

Kothe, E., 2008. Sexual attraction: On the role of fungal pheromone/receptor systems (a review). *Acta Microbiol. Immunol. Hung.* 55, 125-143.

Albarraçín, V.H., Winik, B., Kothe, E., Amoroso, M.-J., Abate, C.M. 2008. Copper bioaccumulation by the actinobacterium *Amycolatopsis* sp. AB0. *J. Basic Microbiol.* 48, 323-330.

Dimkpa, C.O., Svatos, A., Dabrowska, P., Schmidt, A., Boland, W. 2008. Involvement of siderophores in the reduction of metal-induced inhibition of auxin synthesis in *Streptomyces* spp. *Chemosphere* 74, 19-25.

Haferburg G, Groth I, Möllmann U, Kothe E, Sattler I. 2009. Arousing sleeping genes: Shifts in secondary metabolism of metal tolerant actinobacteria under conditions of heavy metal stress. *J. Biotech.*, in press. DOI 10.1007/s10534-008-9157-4.

Sineriz ML, Kothe E, Abate CM. 2009. Cadmium biosorption by *Streptomyces* sp. F4 isolated from former uranium mine. *J. Basic Microbiol.*, in press.

Schmidt A, Gube M, Schmidt A, Kothe E. 2009. *In silico* analysis of nickel containing superoxide dismutase evolution and regulation. *J. Basic Microbiol.*, in press.

Lorenz, Ch., Merten, D., Haferburg, G., Kothe, E., Büchel, G. 2009. Geomicrobial manganese redox reactions in contaminated geosubstrates. *Chem. Erde*, in press.

Iordache V, Gherghel F, Kothe E. 2009. Ectomycorrhizal diversity in young oak forests are controlled by different heavy metals. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, in press.

Ebersberger I, Strauss S, Kupczok A, Eckart M, Voigt K, Gube, M, Kothe E, von Haeseler A. 2009. A stable backbone for the fungi. *Nature*, eingereicht.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8528</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließende Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHYTOREST) |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.03.2008 bis 28.02.2011  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>353.152,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Büchel             |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Projektvorhaben baut auf den Erkenntnissen und technischen Installationen des BMBF-Projektes „Kontrolle biologischer Untersuchungen bei der Dekontamination heterogener, schwach radioaktiv kontaminierter Geosubstrate für die Strahlenschutzvorsorge“ (KOBIOGEO, Förderkennzeichen 02S8294) auf.

Im aktuellen Projektvorhaben soll eine Strahlenschutz-Vorsorge durch „Bioremediation“ von ehemals bergbaulich beeinflussten Bodenoberflächen, die ein radiotoxisches Verstärkungspotential durch das kombinierte Auftreten von Radionukliden und Schwermetallen aufweisen, erreicht werden.

Dabei soll der Remediationserfolg gegenüber bisher bekannten Verfahren der Phytoremediation durch biochemische und biologische Zusatzpräparate sowie eine Steigerung des genetischen Potentials durch eine gezielte Wahl von Phytoakkumulatoren und Phytoexkludern verbessert werden. Innerhalb dieses Verbundvorhabens sollen auch Wege zur Verwertung der schadstoffbelasteten Pflanzenreste nach der Ernte aufgezeigt werden, was der Minimierung von Abfällen, der Energiegewinnung und dem stofflichen Recycling dient (Projektteil TU Dresden).

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Aufbauend auf den bisherigen Erkenntnissen werden durch die Installation von Lysimetern, Grundwassermessstellen und bodenhydrologischen Messplätzen (Sickerwassermessstellen, automatische Probennehmer) auf einem neu eingerichteten Teil des Testfeldes „Gessenwiese“ in Ostthüringen die Stoffflüsse und Frachten der Radionuklide/Schwermetalle (R/SM) im System Pflanze-Boden-Wasser unter dem Einsatz verschiedener biologischer Additive bilanziert. Um die Möglichkeiten der Phytoremediation abschätzen zu können, werden Redoxbedingungen quantifiziert und Transportmechanismen von R/SM identifiziert und charakterisiert.

Auf Grundlage von Topfversuchen werden spezifische Pflanzenmuster (Genotypen/Diversität) von R/SM-Akkumulatoren mit hoher Biomasseproduktion charakterisiert. Durch biologische und biochemische Zusatzpräparate werden die Resistenzmechanismen der Pflanzen gegenüber R/SM aktiviert und modifiziert.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### *Testfeld Gessenwiese*

Die technische Ausstattung des Testfeldes „Gessenwiese“ wurde mit den Installationen der Lysimeterstation und der bodenhydrologischen Messplätze abgeschlossen und in Betrieb genommen. Das Grundwassermessstellennetz des Testfeldes wurde um acht Messstellen erweitert (Anhang, Abb. 1). In den Messstellen des Testfeldes wurden Drucksonden mit Datenloggern installiert. Es wurden 10 separate Testflächen mit homogenisiertem Substrat eingerichtet. Die erfolgreiche Homogenisierung des Substrates wurde analytisch verifiziert. Die Charakterisierung der Grundwässer sowie der Sickerwässer der bodenhydrologischen Messplätze und der Lysimeterstation hinsichtlich Physikochemie und Hydrochemie erfolgte im November 2008 und wird in regelmäßigen Abständen fortgeführt. Die Ergebnisse der Testfeldvorversuche mit biologischen (Streptomyceten + Mykorrhiza (S + M) und biochemischen Additiven (2-Bor Aminoethanol), der Bodenbehandlungsstrategie zur Einstellung unterschiedlicher Bodenfunktionalitäten sowie mit Sonnenblumen, Sudangras und Phacelia als Phytoremediationsbeitrag liegen vor und werden im Rahmen einer Masterarbeit ausgewertet.

#### *Laborversuche*

Es wurden Gefäßversuche mit indischem Senf (*Brassica juncea*) und Sonnenblumen (*Helianthus annuus*) durchgeführt und die chemische Zusammensetzung von Pflanzen- und Bodenmaterial analysiert. Keimversuche ausgewählter Pflanzengenotypen (*Brassica j.*, *Helianthus a.*, Triticale, *Brassica rapa*) mit dem Testfeldsubstrat, unterschiedlichen Additiven (2-Bor-Aminoethanol, Cysteamin, Cholin, Lecithin) und Bodenverbesserungsstrategien (Erhöhung des pH-Werts, Erhöhung des Corg-Anteils, S+M) lieferten erste Ergebnisse. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde ein umfangreicher Gefäßversuch mit ausgewählten Genotypen (Triticale, *Vicia Faba*, *Brassicae r.*), verschiedenen Bodenbehandlungsstrategien und unterschiedlichen Additiven (NPK-Dünger, S+M) angesetzt. Ziel ist es, den Einfluss der Bodenbehandlungsstrategien auf die Biomasse und die R/SM-Transferleistung in die Pflanze abschätzen zu können. Die analytischen Ergebnisse der Substrate, des Pflanzenmaterials, des Sickerwassers, biologische Wachstumsfaktoren und die Bodenanalytik nach der Ernte bilden die Grundlage für die Freilandversuche Anfang April 2009 auf dem Testfeld.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### *Testfeld Gessenwiese*

Alle Komponenten des neu eingerichteten Testfeldes werden kartographisch eingemessen. Die Überwachung und Pflege der technischen Ausstattung sowie die Erfassung und Auswertung der bodenhydrologischen und klimatischen Daten zur Erstellung der klimatischen Wasserbilanz stehen im Fokus. Im April 2009 wird das Testfeld entsprechend der Ergebnisse aus den Gefäßversuchen bodentechnisch vorbereitet (Bodenbehandlung) und mit einer geeigneten Genotypmischung (-sorte) bepflanzt.

#### *Laborversuche*

Die Analytik der Pflanzenkompartimente, die Bestimmung der Elementgehalte und deren Pflanzenverfügbarkeit im Substrat, die Erfassung biologischer Wachstumsfaktoren (Biomasse, Keimrate) und Stressindikatoren sowie die Ermittlung mikrobiologischer Parameter (Bodenatmung, Lebzellzahlen) werden für die Gefäßversuche durchgeführt. Außerdem werden die Keimversuche mit unterschiedlichen Genotypen (Mais, Sudangras) und Additiven (Benzylaminopurin) fortgesetzt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10,<br>01069 Dresden  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8538</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließende Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHYTOREST) |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.05.2008 bis 30.04.2011  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>461.386,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Werner             |   |

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im geplanten Vorhaben sollen sanfte, bioverträgliche Methoden für eine langfristige Sanierung von schwach oder moderat mit SM/R belasteten Großflächen zum Einsatz kommen. Weitere Ziele des geplanten Verbundvorhabens bestehen in einer stofflichen Bilanzierung der SM/R im System Boden-Grundwasser-Pflanze und der Untersuchung des Einflusses geochemischer Barrieren, sowie der Findung von Wegen zur Verwertung der schadstoffbelasteten Pflanzenreste nach der Ernte. Als Lösungsansatz zur Verwertung des belasteten Pflanzenmaterials soll eine biotechnische Entfrachtung untersucht werden.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Grundlagenuntersuchungen der Entfrachtung von verschiedenem Pflanzenmaterial
- AP2: Analytik der Metalle in den Stoffströmen aus den Entfrachtungs- und Verwertungsversuchen
- AP3: Untersuchung verschiedener Prozessparameter der Entfrachtung
- AP4: Orientierende Versuche zur Entfrachtung des Pflanzenmaterials im Reaktormaßstab
- AP5: Optimierung der Reaktorversuche zur Entfrachtung
- AP6: Entwicklung von Verfahrensvorschlägen

Das hier dargestellte Untersuchungsprogramm entspricht dem Programm, das im Projektantrag bereits ausführlich dargestellt wurde.

Der Balkenplan entspricht dem Zeitplan, der zum 01.08.2008 (nach Änderungen durch Kürzungen bei der Abfallwirtschaft) an den Projektträger eingereicht wurde.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

(a) *Gemeinsam mit den Projektpartnern an der FSU Jena* wurde die *Ernte von Sonnenblumen* auf den 3 Subplots auf dem Testfeld der Gessenwiese durchgeführt. Dabei wurden 8,3 kg SM/R- beladenes Sonnenblumenmaterial für die weiteren Versuche (Analytik, Entfrachtung und Vergärung) nach Pirna verbracht.

(b) Ein *experimenteller Vergleich verschiedener analytischer Aufschlussmethoden des Pflanzenmaterials* wurde durchgeführt. Ein solcher Vergleich ist nötig, da Differenzen zwi-

schen den beschriebenen Standardmethoden (z. B. Königswasser-Aufschluss) und den Anforderungen der Spurenmesstechnik (Vermeidung des Einsatzes von Chloriden) bestehen.

(c) Eine **Fehleranalyse beim Aufschluss des Pflanzenmaterials und der Messung der SM/R-Gehalte** wurde durchgeführt, um die Verteilung der Messdaten zu ermitteln (Qualitätssicherung).

(d) In Pflanzboxen mit schwermetalldotiertem Boden erfolgen **Keimversuche mit Kartoffeln**, die die zugegebenen Schwermetalle aus dem Boden extrahieren und akkumulieren. Eine Optimierung der Anzuchtmethodik ist dabei in Zusammenarbeit mit Prof. Bergmann, Universität Jena, erfolgt (100 % Auskeimung).

(e) Eine geeignete Methodik zur **Untersuchung der Bindung der SM/R an das beladene Pflanzenmaterial** wird zurzeit auf der Basis einer sequentiellen Extraktion entwickelt (s. Untersuchungsprogramm). Essentielle Spurenmetalle (z. B. Cu, Zn) werden in bestimmten Pflanzenteilen (Blüten, Samen) stärker gebunden. Vor allem Ni und Mn werden sehr leicht austauschbar eingelagert, was möglicherweise mit dem chemischen Verhalten dieser Metalle zusammenhängt. Prognosen für die Entfrachtung liegen dabei in folgender Reihe: Mn (97-100 %) > Ni (92-93 %) > Zn (25-75 %) > Cu (21-81 %) > Fe (19-29 %). Dies stellt ein fundamentales und sehr erfreuliches Ergebnis dar.

(f) **Erste Entfrachtungsversuche** des belasteten Pflanzenmaterials wurden mit vier verschiedenen Extraktionsmitteln durchgeführt.

(g) Die **Versuche zur alkoholischen Gärung** wurden **mit einer schwermetalldotierten Kartoffelmaische** (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) ohne und mit Zugabe von Blei ausgeführt.

(h) Die **Hemmung der enzymatischen Prozesse** bei der alkoholischen Gärung wurde durch Zugabe erhöhter Enzymmengen untersucht. Dabei wurden 92 % der Ausbeute des Referenzversuches erreicht.

(i) Als Ergebnis einer Steigerung der Ausbeute an Bioethanol konnte nachgewiesen werden, dass die hier **zugegebene Schwermetallmenge** nur eine **geringe Auswirkung auf den Gärprozess** hat, hier also kaum eine Hemmung des Prozesses stattfindet.

(j) Eine erste **Untersuchung des Verbleibs der Schwermetalle in den verschiedenen Stoffströmen der alkoholischen Vergärung** von beladenem Pflanzenmaterial (Kartoffeln) ist erfolgt (vgl. Pkt. 2.2). Dabei findet v. a. eine Akkumulation von Zn, Fe und Cu bis zu > 1 g/kg statt (Cu bis 1,3 g/kg). Eine starke Anreicherung von Cd (52-faches), Cu (16-faches) und Pb (9-faches der zugegebenen Metallkonzentration) im Gärrückstand ist zu beobachten, der somit eine geeignete Schwermetallsenke darstellt.

Zur Koordinierung des Projektes werden regelmäßig Projekttreffen der beiden Arbeitsgruppen aus Pirna und Jena durchgeführt; Protokolle der entsprechenden Arbeitstreffen werden dem Projektträger jeweils zugesandt.

Am 22./23. September 2008 fand ein Treffen beider Arbeitsgruppen beim Jenaer Sanierungskolloquium statt.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im nachfolgenden Berichtszeitraum sind die weiteren Versuche gemäß Untersuchungsprogramm (Punkt 2) geplant.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Eine Vorstellung erster Versuchsergebnisse auf Tagungen (KONTEC 2009 sowie auf der IBS 2009 in Argentinien), sowie eine Veröffentlichung sind geplant.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Universität Karlsruhe (TH), Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe                              |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8548</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2008 bis 31.10.2011  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>349.347,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Gentes             |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Aufbauend auf ersten Grundlagenversuchen wird ein kompakter Manipulator gebaut werden, der 2-dimensional an Wänden und Decken klettern kann und dabei Anbaugeräte mitführt. Durch eine entsprechende Fernbedienung wird das Anbaugerät - im Rahmen dieses Verbundprojekt ein Laser - einen definierten Arbeitsbereich autark bearbeiten, bzw. dekontaminieren können. Das Gesamtsystem wird durch einen ferngesteuerten Wagen bewegt werden können.

Das Vorhaben MANOLA baut auf dem von der DFG geförderten Projekt AMANDA auf und wird als Verbundprojekt in Zusammenarbeit mit der TU Dresden – Institut für Energietechnik – Professur für Wasserstoff- und Kernenergietechnik realisiert.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Bedarfsanalyse – Einwirkende Kräfte; Bewegungsabläufe
- AP2: Grundlagenuntersuchungen – Gewichtsreduzierung; Vakuumplatten
- AP3: Simulationsstudien – Kinematik und Konstruktion Grundträgersystem
- AP4: Bau Grundmodul – Bau des durch AP1 bis 3 definierten Grundmoduls
- AP5: Versuchsphase – Versuche zur Steuerung bzw. Bewegungsabläufe
- AP6: Transportwagen – Entwicklung und Bau des Transportwagens
- AP7: Positionserkennung – Automatisierte Positionserkennung
- AP8: Intelligente Steuerung – Erfassung Oberfläche; Erfassung Störungen
- AP9: Messergebnisse – Erfassung von Messergebnissen; Visualisierung
- AP10: Testphase und Praxiseinsatz – Testphase ohne Anbaugerät
- AP11: Testphase und Praxiseinsatz – Testphase mit Anbaugerät
- AP12: Schlussbericht – Zusammenfassung wissenschaftlicher Ergebnisse

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

#### AP1: Bedarfsanalyse

Im Rahmen der Bedarfsanalyse wurden die für den vorgesehenen Arbeitsbereich erforderlichen Bewegungsabläufe untersucht und definiert. Des Weiteren wurden die auf das Trägersystem einwirkenden Kräfte ermittelt sowie die Aufgabe und Funktion einer Fernbedienung festgelegt. Darüber hinaus hat an der TU Dresden ein Koordinationsgespräch zur Festlegung der Schnittstellen für den Laseranbau stattgefunden.

#### AP2: Grundlagenuntersuchungen

Aufbauend auf der Bedarfsanalyse wurden im Zuge der Grundlagenuntersuchungen Maßnahmen zur Gewichtsreduzierung erarbeitet. Neben einer Optimierung der Abmessungen umfassen diese Maßnahmen eine verbesserte Materialwahl sowie die Reduzierung der Anzahl an Saugplatten. Zudem wurden die Steuerungsfunktionen für die Fernbedienung eingebunden.

#### AP7: Positionserkennung

Parallel zu den Grundlagenuntersuchungen wurde mit der Entwicklung und Umsetzung einer automatisierten Positionserkennung des Grundmoduls (Trägermoduls) an einer definierten Oberfläche sowie einer computergestützten Visualisierung der Position und Umgebung begonnen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im nachfolgenden Berichtszeitraum werden die Grundlagenuntersuchungen abgeschlossen und die Simulationsstudien begonnen. Darüber hinaus werden die Arbeiten hinsichtlich der Positionserkennung weitergeführt.

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

Plenarvortrag auf der KONTEC 2009 in Dresden:

Titel: Dekontamination radioaktiv kontaminierter Betonoberflächen durch ein innovatives Laser-Manipulator-System, Verfasser: Prof. Antonio Hurtado, TU Dresden; Prof. Sascha Gentes, Universität Karlsruhe (TH), u. a.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10,<br>01069 Dresden                        |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8558</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen  |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.07.2008 bis 30.06.2011  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.07.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>438.813,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Prof. Dr. Hurtado            |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Es ist das Ziel der Projektarbeiten, die an der TU Dresden entwickelte laserbasierte Dekontaminationstechnologie mit einem fernsteuerbaren Manipulatorsystem zu kombinieren, so dass das Verfahren für die industrielle Anwendung tauglich wird. Verbundpartner: Universität Karlsruhe, Professur für Rückbau, Institut für Technologie und Management im Baubetrieb.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- API: Bedarfsanalyse: Festlegen der technischen Anforderungen an den manipulatorgetragenen Laserarbeitskopf
- APII: Grundlagenuntersuchungen: Ermittlung der optimalen Auslegung des 10-kW-Arbeitskopfes, der Sensorik und der Fernbedienelemente
- APIII: Codeentwicklung: Weiterentwicklung der Simulationssoftware für die Interaktion Laser – Betonwand und der Abtragsprozesse
- APIV: Bau Laserbearbeitungskopf: Fertigung des Arbeitskopfes
- APV: Bau Sensorik: Fertigung der Sensorik für den Laserarbeitskopf
- APVI: Versuchsphase: Experimentelle Untersuchung der Funktionalität des Abtrags- und des Sensorsystems
- APVII: Positionserkennung: Entwicklung und Implementierung der Abtragstiefenerkennung
- APVIII/IX: Intelligente Steuerung und Messwerterfassung: Implementierung einer intelligenten Prozesssteuerung, Erfassung und Dokumentation der Arbeitsergebnisse
- APX/XI: Testphase: praxisnahe Erprobung der Einzelkomponenten und des Gesamtsystems
- APXII: Schlussbericht



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

API: Literaturrecherche wird durchgeführt.

APII: Der für das Projekt vorgesehene 10 kW-Diodenlaser wurde in einem eigens dafür errichteten Laserlabor installiert und nach einer Erprobungsphase in Betrieb genommen. Er ist ausgerüstet mit einer speziell für den Laserabtrag ausgelegten Rechteckoptik, die eine Lasereinwirkzone von 50 mm Breite bei einer Länge von 10 mm ermöglicht. Erste Tests zum Aufschmelzen von Betonoberflächen verliefen sehr positiv. Die breite Bearbeitungsspur erlaubt eine hohe Flächenabtragsleistung, wobei die Anzahl der prozessbedingt erforderlichen Spurüberlappungen gegenüber einer kreisrunden Einwirkzone deutlich reduziert wird. Dies wirkt sich auf die Prozessgestaltung positiv aus. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde ein Arbeitskopf, bestehend aus Laseroptik, Ausblasdüse, Absaugsystem, integriertem Zyklon und Sensortechnik für die Anforderungen einer rechteckigen Bearbeitungszone konzipiert, konstruktiv umgesetzt und an die Fertigung übergeben.

In Abstimmung mit der Universität Karlsruhe erfolgte die Auslegung der Sensortechnik zur Kontrolle und Steuerung des künftigen Laserarbeitskopfes. Des Weiteren wurden die Schnittstellen zwischen Lasersystem und Manipulator bestimmt sowie die motorischen Eigenschaften des Arbeitskopfes festgelegt (welche motorischen Funktionen werden vom Manipulatorsystem übernommen – welche Funktionen muss der Arbeitskopf erfüllen können). Ausgehend davon sind die erforderlichen Sensorsysteme, wie Messlaserscanner zur Ermittlung der Abtragsprofile, kapazitive Sensoren zur Positions- und Hinderniserkennung sowie elektromagnetische Sensoren zur Detektierung von metallischen Einschlüssen, dimensioniert und bestellt worden.

APIII: Die Arbeiten zur Simulation des Abtragsprozesses wurden begonnen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Weiterführung der Arbeiten laut Arbeitsplan.

Schwerpunkte: Termingerechte Fertigung des Arbeitskopfes und anschließende Erprobung sowie Installation der Sensorik und Erprobung des Zusammenwirkens der einzelnen Sensorelemente.

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

Vortrag auf KONTEC 2009.

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>Auftragnehmer:</b><br>GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8578</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Strahlenschutzaspekte bei der Auswahl von Abbau- und Dekontaminationstechniken |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen                              |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.08.2008 bis 31.07.2010  | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.08.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b><br>312.611,00 EUR   | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Kaulard                  |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des vorliegenden Vorhabens ist es, strahlenschutzrelevante Informationen und Erfahrungen beim Einsatz gängiger Abbau- und Dekontaminationstechniken – schwerpunktmäßig in deutschen Stilllegungsprojekten – zu sammeln, aufzubereiten und als Fachbericht im Sinne einer kompakten Darstellung mit Schwerpunkt Strahlenschutz zu Abbau- und Dekontaminationstechniken bereitzustellen. Der Fachbericht dient als Nachschlagewerk und soll hierdurch auch Entscheidungen zur Auswahl konkreter Abbau- und Dekontaminationstechniken unter Strahlenschutzaspekten unterstützen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Durchführung des Projektes erfolgt in sieben Arbeitspaketen (AP). Diese werden entsprechend ihren Abhängigkeiten sequentiell oder parallel bearbeitet. Folgende Arbeitspakete sind vorgesehen:

- AP1: Literaturrecherche
- AP2: Festlegung der strahlenschutzrelevanten Aspekte bei Abbau- und Dekontaminationstechniken („Datenerfassungsbögen“)
- AP3: Erfassung strahlenschutzrelevanter Erfahrungen beim Einsatz von Abbau- und Dekontaminationstechniken („Datenerfassung in der Praxis“)
- AP4: Auswertung der strahlenschutzrelevanten Daten und Erfahrungen
- AP5: Erstellung des Fachberichts
- AP6: Aufbau und Betreuung eines Unterstützernetzwerkes
- AP7: Verfolgung nationaler und internationaler Entwicklungen

Erläuterung zu AP6: Durch einen intensiven Erfahrungs- und Informationsaustausch mit Beteiligten deutscher Stilllegungsprojekte soll ein hoher Praxisbezug des Fachberichts und eine möglichst umfassende Berücksichtigung deutscher Erfahrungen erreicht werden. Hierzu wird ein so genanntes „Unterstützernetzwerk“ aufgebaut, in dem Informationen zum Vorhaben und zu wichtigen Fachfragen in Form von E-Mail, einer Internetplattform und Workshops ausgetauscht werden sollen.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde mit der Bearbeitung des Vorhabens begonnen. Insbesondere wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- AP1: Mit der Sichtung und Auswertung nationaler und internationaler Fachliteratur zu Abbau- und Dekontaminationstechniken sowie Erfahrungen aus der Stilllegungspraxis wurde begonnen und weitestgehend abgeschlossen. Als Ergebnis wurde eine Zusammenstellung relevanter Abbau- und Dekontaminationstechniken mit Verweisen auf relevante Literatur erstellt. Die Zusammenstellung dient einerseits zur Verfolgung einer möglichst vollständigen Berücksichtigung aller Techniken im späteren Fachbericht; sie dient andererseits als Ausgangsbasis für die Konzeption der Datenerfassungsbögen im AP2 sowie für eine erste Zusammenstellung von strahlenschutzrelevanter Daten – soweit in der Literatur benannt – im Rahmen der Durchführung des AP3.
- AP2: Keine wesentlichen Arbeiten im Berichtszeitraum.
- AP3: Keine.
- AP4: Keine.
- AP5: Keine.
- AP6: Keine wesentlichen Arbeiten im Berichtszeitraum.
- AP7: Im Rahmen des Arbeitspaketes wurde eine nationale Stilllegungskonferenz besucht und hierbei gewonnene Erkenntnisse ausgewertet bzw. für die Berücksichtigung der künftigen Arbeitspakete vorgemerkt. Ein Sitzungsbericht liegt im Entwurf vor und wird nach interner Qualitätssicherung dem Auftraggeber zugeleitet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Anfang 2009 werden die Abschlussarbeiten zur Literaturrecherche durchgeführt, so dass die Bearbeitung des AP1 abgeschlossen werden kann.

Ebenfalls für Anfang 2009 ist die Erstellung der Datenerfassungsbögen unter Berücksichtigung der Ergebnisse des AP1 vorgesehen.

Mit Blick auf den angestrebten Praxisbezug, aber auch auf eine wohlwollende Unterstützung der späteren Datensammlung, wird Anfang 2009 mit dem Aufbau des Unterstützernetzwerkes begonnen; in diesem Zusammenhang ist für die erste Jahreshälfte ein erster Workshop des „Unterstützernetzwerkes“ geplant, auf dem die Projektziele erläutert und die Ergebnisse der Literaturrecherche sowie die Konzeption der Datenerfassungsbögen vorgestellt werden. Ergebnisse des Workshops sind einerseits Beiträge zur Vervollständigung der insgesamt erfassten Abbau- und Dekontaminationstechniken; andererseits werden Hinweise und Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Datenerfassungsbögen unter Gesichtspunkten der Zielsetzung des Vorhabens und der Handhabbarkeit bei der Bereitstellung von Daten durch Beteiligte deutscher Stilllegungsprojekte erwartet.

Der Beginn der Sammlung von Daten ist in der zweiten Jahreshälfte 2009 vorgesehen.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8588</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Handhabungs- und Transportkonzepte zur Entsorgung radioaktiver Reststoffe aus Stilllegung und Rückbau: Entwicklung rechnerischer Analysemethoden für stoßdämpfende Strukturen beim Aufprall oder Absturz von Abfallgebinden (ENREA) |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.10.2008 bis 31.12.2011   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.10.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>656.483,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dr. Völzke                   |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Bereitstellung verbesserter Werkzeuge für Beanspruchungs- und Sicherheitsanalysen an Behältern zur unfallsicheren Handhabung radioaktiver Stoffe bei Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen auf Grundlage der lastmindernden Wirkung von stoßdämpfenden Strukturen. Dazu werden maßgebende Werkstoffparameter für typische Stoßdämpferwerkstoffe (Polyurethanschaum, Polymerbeton, Holz) bei verschiedenen Beanspruchungsgeschwindigkeiten und Temperaturen systematisch experimentell bestimmt. Mit diesen Daten werden Materialmodelle zur numerischen Analyse mittels der Finite-Elemente-Methode (FEM) implementiert, so dass die präzisere Bestimmung der Beanspruchungen der beteiligten Stoßpartner möglich wird. In zielgerichteten Bauteilversuchen werden schließlich Berechnungsergebnisse verifiziert. Durch die Bereitstellung einer breiten Palette belastbarer Werkstoffparameter sowie validierter Analysemethoden zur präziseren Bestimmung der Beanspruchungen von Behältern können Sicherheitsreserven präzisiert, Konstruktionen optimiert, Kosten gesenkt und Genehmigungs- und Zulassungsverfahren beschleunigt werden. Eine Zusammenarbeit erfolgt mit der Fa. WTI - Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH, Jülich als Zuwendungsempfänger des Forschungsvorhabens „Qualifikation und Erprobung von stoßdämpfenden Strukturen zur Optimierung / Reduzierung der Beanspruchung von Verpackungen zur Entsorgung radioaktiver Reststoffe aus Stilllegung und Rückbau (QUEST)“, Förderkennzeichen 02 S 8598.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Drucklast-Verformungskennlinien bei konst. Dehnraten an einer servohydraulischen Prüfmaschine für PU-Schaum, Polymerbeton und Holz ( $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ) mit den Parametern Dehnraten, Temperatur und Werkstoffqualität mit und ohne Querdehnungsbehinderung.
- AP2: Drucklast-Verformungskennlinien bei veränderlichen Dehnraten am geführten Fallprüfstand für PU-Schaum, Polymerbeton und Holz ( $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ ) mit den Parametern Kompressionsgrad, Temperatur und Werkstoffqualität.
- AP3: Modellversuche am geführten Fallprüfstand der BAM oder im Freifall mit Stoßdämpferplatten (ca.  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ ) unter definierten Randbedingungen unter Einwirkungen kugelförmiger, zylindrischer und kubischer Aufprallkörper.

AP4: Begleitende Finite-Elemente (FE) – Berechnungen: Implementierung von Materialmodellen in Finite Element Codes; Entwicklung von FE-Strukturmodellen der Versuchsanordnungen im geführten Fallprüfstand und Nachrechnung von Versuchen; Voraus- und Nachberechnung von ausgewählten Modellversuchen gemäß AP3.

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

- Erste Vorbereitungen zur Bereitstellung bzw. Beschaffung von Versuchseinrichtungen und Probenmaterial.
- Einleitung der Mitarbeitergewinnung für das Projekt.
- Durchführung des Kick-Off-Meetings am 17.12.2008 gemeinsam mit dem Projekt „QUEST“ (vgl. 1.).

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Festlegung der Spezifikationen und Beschaffung der benötigten Materialproben (Holz, PU-Schaum, Polymerbeton).
- Beschaffung von Kraft- und Beschleunigungsaufnehmern sowie Klimakammer zur Temperierung der Proben.
- Auslegung und Konstruktion der Probenhaltevorrichtungen.
- Vorbereitende Arbeiten zur rechnerischen Modellierung der verwendeten Werkstoffe in Finite-Elemente-Programmen, Zusammenstellung der benötigten Materialparameter und deren experimentelle / messtechnische Bestimmung in den Last-Verformungsversuchen bei konstanter Dehnrage.
- Durchführung von Versuchen mit konstanter Dehnrage an der servohydraulischen Prüfmaschine zur Erprobung der Versuchs- und Messtechnik; anschließend Beginn der Messreihen zu Arbeitspaket 1).

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

Keine.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Zuwendungsempfänger:</b><br>WTI Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH,<br>Karl-Heinz-Beckurts-Str. 8, 52428 Jülich  |   | <b>Förderkennzeichen:</b><br><b>02 S 8598</b> |
| <b>Vorhabensbezeichnung:</b><br>Qualifikation und Erprobung von stoßdämpfenden Strukturen und Materialien zur Optimierung/Reduzierung der Beanspruchung von Verpackungen zur Entsorgung radioaktiver Reststoffe aus Stilllegung und Rückbau (QUEST) |   |   |
| <b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b><br>Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen   |   |   |
| <b>Laufzeit des Vorhabens:</b><br>01.11.2008 bis 31.12.2011   | <b>Berichtszeitraum:</b><br>01.11.2008 bis 31.12.2008 |   |
| <b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b><br>458.849,00 EUR  | <b>Projektleiter:</b><br>Dipl.-Ing. Vallentin         |   |

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei der Auslegung von Verpackungen für radioaktive Reststoffe aus der Entsorgung sowie der Stilllegung und dem Rückbau von kerntechnischen Anlagen müssen Abstürze aus verschiedenen Höhen auf unterschiedliche Untergründe berücksichtigt werden. Zur Optimierung und Reduzierung der Beanspruchung in den Verpackungen soll zukünftig ein Nachweiskonzept etabliert werden, mit dem eine geschlossene dynamische Simulation des Aufpralls möglich ist.

Wesentliche Voraussetzung für die Anwendung dieser Methodik ist, dass die Eigenschaften der stoßdämpfenden Materialien bekannt und durch entsprechende numerische Formulierungen an die Berechnungsmethode adaptiert sind.

Ziel dieses Vorhabens ist es, entsprechende rechnerische Analysemethoden zu entwickeln.

Eine Zusammenarbeit erfolgt mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin als Zuwendungsempfänger für das Forschungsvorhaben ENREA (Förderkennzeichen 02 S 8588).

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die vorgesehenen Arbeitsschritte des Vorhabens sind:

1. Phase: Ermittlung von Last-Verformungskennlinien an Proben für Holz, PU-Schaum und Polymerbeton bei konstanten Dehnraten und unterschiedlichen Temperaturen
  - a) Ermittlung von Last-Verformungskennlinien bei vollständiger Querdehnungsbehinderung
  - b) Ermittlung von Last-Verformungskennlinien ohne Querdehnungsbehinderung
  - c) Ermittlung des Einflusses der Probengröße.
2. Phase: Ermittlung von Last-Verformungskennlinien an Proben für Holz, PU-Schaum und Polymerbeton bei veränderlicher Dehnraten und unterschiedlichen Temperaturen
  - a) Ermittlung von Last-Verformungskennlinien bei vollständiger Querdehnungsbehinderung
  - b) Ermittlung von Last-Verformungskennlinien ohne Querdehnungsbehinderung

- c) Ermittlung des Einflusses der Probengröße.
3. Phase: Durchführung von Modellversuchen an kleinmaßstäblichen Referenzstrukturen von stoßdämpfenden Komponenten.
  4. Phase: Begleitende Finite-Elemente (FE) – Berechnungen zur Implementierung der ermittelten Werkstoffkennwerte in entsprechende Werkstoffmodelle.
  5. Phase: Erstellung des Abschlussberichtes.

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

Zur Abstimmung des weiteren Vorgehens wurde am 17.12.2008 ein Kick-Off-Meeting gemeinsam mit der BAM (vgl. 1) durchgeführt. Für die Probenbeschaffung wurde das Verfahren zur Bestellung und die dabei zu erwartenden Lieferfristen ermittelt. Es wurde weiterhin vereinbart, die Versuchsrandbedingungen, die Messgrößen und die mögliche Auswertbarkeit mit Blick auf die numerischen Simulationen bis Anfang 2009 festzulegen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Abstimmung und detaillierte Ablaufplanung der 1. Projektphase.
- Festlegung der Materialspezifikationen und Beschaffung der Probekörper (Holz, PU-Schaum, Polymerbeton).
- Beschaffung von Kraft- und Beschleunigungsaufnehmern für die Versuche.
- Vorbereitende Arbeiten für die Modellversuche.
- Vorbereitende Arbeiten für die Finite-Elemente (FE)-Berechnungen.

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

Keine.





## 2.3 Ausführende Forschungsstellen

|   |
|---|
| <b>BÜDIAM Diamantwerkzeuge R. und N. Büttner GmbH, Industriestr. 5a, 35713 Eschenburg</b> |
|---|

- |           |   |      |
|-----------|---|------|
| 02 S 8447 | Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen | 📖 74 |
|-----------|---|------|

|  |
|--|
| <b>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin</b> |
|--|

- |           |  |       |
|-----------|--|-------|
| 02 S 8021 | Entwicklung von Beurteilungsmethoden für Transport- und Lagerbehälter mit erhöhten metallischen Reststoffanteilen -Weiterführende Untersuchungen (EBER III)-   | 📖 38  |
| 02 S 8274 | Fallversuche mit Brennelement-/HAW-Transport- und Lagerbehältern in Originalgröße  | 📖 44  |
| 02 S 8588 | Handhabungs- und Transportkonzepte zur Entsorgung radioaktiver Reststoffe aus Stilllegung und Rückbau: Entwicklung rechnerischer Analysemethoden für stoßdämpfende Strukturen beim Anprall oder Absturz von Abfallgebinden (ENREA) | 📖 100 |

|   |
|---|
| <b>Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstr. 7, 72074 Tübingen</b> |
|---|

- |           |   |      |
|-----------|---|------|
| 02 S 8416 | Das Phänomen der Hyperradiosensitivität und deren Modulation durch den Radioprotektor Phosphotyrosin - <i>Strahlenforschung</i> | 📖 68 |
|-----------|---|------|

|   |
|---|
| <b>Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Str., 52428 Jülich</b> |
|---|

- |           |   |      |
|-----------|---|------|
| 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 | 📖 48 |
|-----------|---|------|

|   |
|---|
| <b>Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena</b> |
|---|

- |           |  |      |
|-----------|--|------|
| 02 S 8294 | Kontrolle biologischer Untersuchungen bei der Dekontamination heterogener, schwach radioaktiv kontaminierter Geosubstrate für die Strahlenschutzvorsorge   | 📖 46 |
| 02 S 8396 | Untersuchungen zur Strahlenschutz-Vorsorge für radionuklidbelastetes Substrat: Mikrobieller Beitrag zur Bioakkumulation aus Bauschutt  | 📖 64 |
| 02 S 8517 | Uraufnahme   | 📖 88 |
| 02 S 8528 | Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließende Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHYTOREST) | 📖 90 |

|  |
|--|
| <b>Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mit beschränkter Haftung, Schwertnergasse 1, 50667 Köln</b> |
|--|

- |           |  |      |
|-----------|--|------|
| 02 S 8578 | Strahlenschutzaspekte bei der Auswahl von Abbau- und Dekontaminationstechniken | 📖 98 |
|-----------|--|------|

|   |
|---|
| <b>GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt</b> |
|---|

- |           |  |      |
|-----------|--|------|
| 02 S 8355 | Molekulare und zelluläre Wirkung dicht ionisierender Strahlen - <i>Strahlenforschung</i>   | 📖 56 |
| 02 S 8497 | Induktion und Transmission von genetischen Schäden nach Hoch-LET Bestrahlung: In vivo und in vitro Untersuchungen - <i>Strahlenforschung</i> | 📖 84 |

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

- |                  |   |      |
|------------------|---|------|
| <b>02 S 8437</b> | Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen                           | 📖 72 |
| <b>02 S 8487</b> | Konstruktion, Herstellung, Beschichtung, Prüfung und Handhabung langzeitstabiler Gebinde zur sicheren Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen | 📖 82 |

|  |
|--|
| <b>Ludwig-Maximilians-Universität München, Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 München</b> |
|--|

- |                  |   |      |
|------------------|---|------|
| <b>02 S 8345</b> | 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<br><i>- Strahlenforschung</i> | 📖 54 |
| <b>02 S 8457</b> | Untersuchung von epigenetischen Effekten nach Bestrahlung menschlicher Zellen<br><i>- Strahlenforschung</i>   | 📖 76 |

|   |
|---|
| <b>SGE Spezialgeräteentwicklung GmbH, Lohmener Str. 11, 01796 Pirna</b> |
|---|

- |                  |  |      |
|------------------|--|------|
| <b>02 S 8406</b> | Weiterentwicklung der Technologie Plasmaschneiden für nichtmetallische Materialien für den praktischen Einsatz beim Rückbau und der Zerlegung von Kernkraftwerksanlagen und Reaktoren sowie für den Katastrophenschutz | 📖 66 |
|------------------|--|------|

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

- |                  |  |      |
|------------------|--|------|
| <b>02 S 8011</b> | Forschungsvorhaben zur Optimierung der Reststoffverwertung von Metallen -Weiterführende Untersuchungen (FORM III)- | 📖 36 |
|------------------|--|------|

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

- |                  |  |      |
|------------------|--|------|
| <b>02 S 8366</b> | Schutz durch Hochgeschwindigkeitsflammspritzschichten auf dickwandigen End- und Zwischenlagerbauteilen zur Reduktion von Reparaturen, Korrosion und Kosten -SHARK- | 📖 60 |
|------------------|--|------|

|  |
|--|
| <b>Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt</b> |
|--|

- |                  |   |      |
|------------------|---|------|
| <b>02 S 8335</b> | Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung<br><i>- Strahlenforschung</i> | 📖 52 |
|------------------|---|------|

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

- |                  |  |      |
|------------------|--|------|
| <b>02 S 8356</b> | Dekontamination silikatischer Oberflächen mittels Laserablation bei gleichzeitiger Abproduktkonditionierung  | 📖 58 |
| <b>02 S 8538</b> | Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließende Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHYTOREST) | 📖 92 |
| <b>02 S 8558</b> | Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie   | 📖 96 |

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

- |                  |   |      |
|------------------|---|------|
| <b>02 S 7951</b> | Entsorgung von Beryllium / Berylliumoxid und Cadmium aus Forschungsreaktoren  | 📖 34 |
| <b>02 S 8325</b> | Verbesserung von Richtigkeit und Genauigkeit bei der Bestimmung des Nuklidinventars für die Deklaration und Freimessung von Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Einrichtungen | 📖 50 |
| <b>02 S 8376</b> | Bestimmung von Endlager-relevanten, langlebigen Radionukliden mittels radiometrischer und spezieller massenspektrometrischer Verfahren  | 📖 62 |
| <b>02 S 8507</b> | Verfahren zur selektiven Tritium-Extraktion aus wässrigen Abfalllösungen und langzeitstabilen Bindung auf einem Träger  | 📖 86 |

|   |
|---|
| <b>Universität Duisburg-Essen, Universitätsklinikum Essen, Hufelandstraße 55, 45147 Essen</b> |
|---|

- |                  |   |      |
|------------------|---|------|
| <b>02 S 8254</b> | Checkpoint Manipulation als Strategie für den Strahlenschutz und für die Strahlensensibilisierung von Säugetierzellen<br><i>- Strahlenforschung</i> | 📖 42 |
| <b>02 S 8467</b> | Regulationsmechanismen eukaryotischer DNA Replikation nach Bestrahlung<br><i>- Strahlenforschung</i>  | 📖 78 |

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

- |                  |   |      |
|------------------|---|------|
| <b>02 S 8223</b> | Inaktivierung von Mdm2 nach ionisierender Strahlung – Aufklärung der Signaltransduktionskette<br><i>- Strahlenforschung</i> | 📖 40 |
| <b>02 S 8477</b> | Regulation der Nicht-homogenen Endverknüpfung durch post-translationelle Modifikation<br><i>- Strahlenforschung</i>         | 📖 80 |
| <b>02 S 8548</b> | Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie                                    | 📖 94 |

|  |
|--|
| <b>Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Martinistr. 52, 20251 Hamburg</b> |
|--|

- |                  |   |      |
|------------------|---|------|
| <b>02 S 8427</b> | Genomische Instabilität durch Doppelstrangbrüche: Bedeutung des Single-strand annealing<br><i>- Strahlenforschung</i> | 📖 70 |
|------------------|---|------|

|   |
|---|
| <b>WTI Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH, Karl-Heinz-Beckurts-Str. 8, 52428 Jülich</b> |
|---|

- |                  |   |       |
|------------------|---|-------|
| <b>02 S 8598</b> | Qualifikation und Erprobung von stoßdämpfenden Strukturen und Materialien zur Optimierung/Reduzierung der Beanspruchung von Verpackungen zur Entsorgung radioaktiver Reststoffe aus Stilllegung und Rückbau (QUEST) | 📖 102 |
|------------------|---|-------|