

**KIT**  
**Universität des Landes Baden-Württemberg**  
**und**  
**nationales Forschungszentrum**  
**in der Helmholtz-Gemeinschaft**

**PTE-S Nr. 19**

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

Berichtszeitraum: 1. Juli - 31. Dezember 2009

Projektträger Karlsruhe im Karlsruher Institut für Technologie  
Wassertechnologie und Entsorgung  
PTKA-WTE

**April 2010**



## **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. Das KIT übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.



## Vorwort

Das KIT 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 Projekt Merlin bei FZ Jülich.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 AVR.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe .....</b>	<b>9</b>
HDB .....	10
KNK .....	12
MZFR.....	14
WAK.....	16
<b>1.4 THTR 300 .....</b>	<b>19</b>
<b>1.5 Projekt MAREN bei GKSS .....</b>	<b>23</b>
<b>2 FuE-Vorhaben „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“ .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 Fördervorhaben .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 Formalisierte Zwischenberichte .....</b>	<b>31</b>
<b>2.3 Ausführende Forschungsstellen .....</b>	<b>95</b>





# **1 Stilllegungsprojekte des BMBF**

## **1.1 Projekt Merlin bei FZ Jülich**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Jülich GmbH, Postfach 11 60, 52412 Jülich	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung und Abbau des Forschungsreaktors FRJ-1 (MERLIN)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1996 bis 2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 31 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> 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.

Nach erfolgter Freimessung der ehemaligen Nebengebäude des FRJ-1 wurden diese 2009 zurückgebaut und entsorgt. Bis auf die Abschlussdokumentation wurde das Gesamtprojekt „Rückbau FRJ-1 (MERLIN)“ Ende 2009 abgeschlossen.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Mit der Bewilligung der Förderungsmittel des Bundes konnten die Vorbereitungsmaßnahmen Mit dem Zuwendungsbescheid des BMBF vom Juni 2009 wurden dem FZJ die notwendigen Mittel zur Verfügung gestellt, um die weit fortgeschrittenen Arbeiten im 2. Quartal 2009 abschließen zu können.

Mitte Juli 2009 wurde mit dem Rückbau der Nebengebäude des FRJ-1 begonnen. Grundlage dieser Abbautätigkeiten war die uneingeschränkte Freigabe der Gebäude und die Entlassung aus dem Regelungsbereich des Atom- und Strahlenschutzrechtes durch die zuständige Aufsichtsbehörde.

Explizit ausgenommen in dieser Genehmigung war die Wasseraufbereitungsanlage des FRJ-1, da diese die Deionat-Versorgung für das Wasserbecken der Großen Heißen Zellen (GHZ) sicherstellte. Die Freigabebeantragung war somit erst nach Entsorgung der letzten AVR-Brennelemente aus dem Wasserbecken der GHZ möglich.

Mitte August 2009 waren alle AVR-Brennelemente aus dem Wasserbecken der GHZ entfernt und die Freigabe wurde beantragt. Zwei Monate später wurde der uneingeschränkten Freigabe des Wasseraufbereitungsgebäudes und der zugehörigen Einrichtungen des FRJ-1 durch die atomrechtliche Aufsichtsbehörde zugestimmt. Gleichzeitig wurden das Gebäude mit den darin befindlichen Einrichtungen aus dem Regelungsbereich des Atom- und Strahlenschutzrechtes entlassen.

Der Abbruch der Nebengebäude des FRJ-1 und die anschließende Rekultivierung des Geländes wurden im Berichtszeitraum abgeschlossen.

Bis auf die Abschlussdokumentation wurde das Gesamtprojekt „Rückbau FRJ-1 (MERLIN)“ Ende 2009 abgeschlossen.

### **3. Geplante Weiterarbeit**

Übrig bleiben die Tätigkeiten zur Durchführung einer Abschlussdokumentation. Diese soll in 2010 durchgeführt werden.

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

Keine.

### **5. Kosten**

Aufgrund zusätzlich erforderlicher Freimesstätigkeiten, unerwarteten Betonabtragungen und zusätzlichen Sonderabfallbelastungen ist es 2009 zu Mehrkosten in Höhe von ca. 250 T EUR gekommen.

Kosten bisher (von 1996 bis 2009):  
Geldgeber:

31 Mio. €  
Bund 90 %, Land 10 %



## 1.2 AVR

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor GmbH, Wilhelm-Johnen-Straße, 52428 Jülich	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Vollständiger Abbau der AVR-Anlage	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1987 bis 2015	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 443,7 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> 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

Am 31.03.2009 wurde die Genehmigung zum „*Vollständigen Abbau des AVR - Versuchskernkraftwerkes*“ (7/16) gemäß § 7 Abs. 3 AtG erteilt. Der Erhalt der Genehmigung stellt einen weiteren, wichtigen Meilenstein auf dem Weg zur Grüne Wiese dar.

Nach dem Füllen des Reaktorbehälters mit Porenleichtbeton im November 2008 bestimmen nunmehr die vorbereitenden Demontearbeiten zum Ausheben des Reaktorbehälters den kritischen Pfad. Das Einschweißen von zwölf Stützkeilen am Reaktorbehälterflansch, als genehmigungstechnische Voraussetzung für das spätere Herausnehmen des Reaktorbehälters, war im Berichtszeitraum das Vorhaben, das den Demontageablauf vorgab.

Im Dezember 2009 war der Rohbau des *Reaktorbehälter-Zwischenlagers* planmäßig fertig gestellt.

Die Auflagen zum Erhalt der uneingeschränkten Betriebsgenehmigung für das *Abfall-Lager (Halle V)* sind weitestgehend erfüllt. Mit der Einlagerung von radioaktiven Abfällen und Reststoffen aus dem Rückbau des AVR - Versuchskernkraftwerkes wird in Kürze begonnen.

Das Mess-Programm zur Überwachung der *Bodenkontamination des Betriebsgeländes* wird gemäß den behördlichen Vorgaben weiter kontinuierlich durchgeführt.  
Der *Wechselschichtdienst* wird unverändert fortgesetzt.

### 3. Geplante Weiterarbeit

- Weiterführung der Demontearbeiten der elektro- und verfahrenstechnischen Anlagenteile im Schutzbehälter.
- Fertigung der Handhabungseinrichtungen für das spätere Herausnehmen des Reaktorbehälters.
- Planmäßiger Weiterbau der Reaktorbehälter-Zwischenlagerhalle.

### 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 2008):	315,3 Mio. €
Kosten (Januar-Dezember 2009):	21,5 Mio. €
Zukünftige Kosten:	<u>106,9 Mio. €</u>
	443,7 Mio. €

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





### **1.3 Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungsgesellschaft mbH**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungsgesellschaft mbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung von Teilanlagen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1994 bis 2030	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 113,0 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> N.N.

## 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Die Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB) ist seit dem 01.07.2009 ein Betriebsteil der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungsgesellschaft (WAK GmbH). Die Aufgabe der HDB ist die Entsorgung von radioaktiven Abfällen und Reststoffen der im Rückbau befindlichen Anlagen der WAK GmbH (z. B. KNK, MZFR, HZ), der zurückzunehmenden Abfälle aus der Wiederaufarbeitung der Kernbrennstoffe sowie ihrer eigenen Abfälle und der am Standort vorhandenen Einrichtungen und Anlagen:

- Betriebsabfälle und Reststoffe vom KIT
- Abfälle des Europäischen Instituts für Transurane (ITU)
- 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 den Reaktoren 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

- 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 und seit Verglasungsbeginn im September 2009 genutzt werden.
- Abwasser-Sammelstation Y561 C1 (Bau 561)  
Die Demontagearbeiten der in den Installationskanälen und im Erdreich doppelwandig verlegten Rohrleitungen von den Gebäuden 536, 563 und 571 der außer Betrieb genommenen Abwassersammelstation wurden störungsfrei abgeschlossen.

## 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. Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass der VEK Betrieb 2010 abgeschlossen werden kann und nach der Verarbeitung des Flüssigabfalls in der LAW-Eindampfung I u. Zementierung II das Genehmigungsverfahren in 2011 wieder aktiviert werden kann, um mit den Rückbauarbeiten zu beginnen.
- Abwasser-Sammelstation Y561 C1, Bau 561:  
2010 soll das Gebäude 561 dekontaminiert, frei gemessen und aus dem genehmigungspflichtigen Umgang entlassen und abgerissen werden.

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

Keine.

## 5. Kosten

Kosten bisher (von 1994 bis 06/2009):	12,1 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	0,4 Mio. €
Zukünftige Kosten:	100,5 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Land BW 10 %

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungsgesellschaft mbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage (KNK)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1992 bis 2013	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 315,3 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Graf

## 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 Stilllegungsgenehmigungen (SG) bis Ende 2013 vollständig abzubauen (grüne Wiese):

- Abbau Sekundärsysteme, Tertiärsystem, Objektschutz, Blendenverstelleinrichtung, Wechselmaschine; Entsorgung von Brennelementen, Primär- u. Sekundärnatrium; Umstellung der E-Versorgung; Abriss von Gebäuden; Abbau der Primärsysteme (1.- 8. SG)
- Ausbau Reaktortank und Abbau biologischer Schild (9. SG)
- Abbau Hilfssysteme, Freimessen und 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

Vor dem Beginn der Rückbaumaßnahmen 2 und 3 der 9. SG wurde die Demontage der nicht mehr benötigten Einrichtungen abgeschlossen. Die Montage der neuen Einrichtungen wurde fortgesetzt.

Die Durchführung der Maßnahme 2 gliedert sich in Demontage der Wärmeisolierung sowie Abbau und Entsorgung der Primärabschirmung.

Für das erste Arbeitspaket 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.

Nach dem alle nicht mehr benötigten Komponenten demontiert wurden, konnte der Einbau der neuen Komponenten zum Abbau der Wärmeisolierung und der Primärabschirmung fortgesetzt werden. Die Arbeiten an der Reaktorschachtabdeckung, dem Containerbeladekran sowie dem Hubwerk des Zellenkrans wurden fortgesetzt und zum Teil abgeschlossen. Die

Bauprüfung der horizontalen Energieketten wurde erfolgreich durchgeführt. Die Adapterplatte mit den dazugehörigen Energieketten wurde montiert. Die Containerschleuse wurde montiert. Das Bandsägewerkzeug wurde angeliefert. Die Schulung und Erprobung für das Bandsägewerkzeug wurde im Herstellerwerk erfolgreich abgeschlossen.

Der Mock-Up wurde für die Erprobung des Abbaus der Wärmeisolierung umgebaut. Schulung und Erprobung des Werkzeugträgersystems im Mock-Up sind abgeschlossen. Das Hebewerkzeug wird aufgrund der fehlgeschlagenen Bau- und Funktionsprüfung zurzeit überarbeitet.

Die Planung zum Rückbau des Biologischen Schildes konzentrierte sich auf den Umbau des Mock-Up zur Erprobung des Betonrückbaus. Die Leistungsbeschreibung für die Beschaffung des Abbruchbaggers ist im Prüfumlauf. Die Planungen für die Containerbeladung, das Strahlenschutzkonzept und die 3D-Planung werden intern geprüft.

Die zweite Kühlfalle von insgesamt sieben Kühlfällen (eine große Kühlfalle, sechs kleine Kühlfällen) wurde von der HDB zurückgeholt und zeitnah zerlegt. Das Waschen der dabei entstandenen 16 Segmente wurde sukzessive durchgeführt und abgeschlossen. Zwischendurch kommt es immer wieder zu kleineren Stillstandszeiten, in denen die Waschanlage repariert werden muss.

### 3. Geplante Weiterarbeit

9. SG:        Abbau Reaktortank, Primärabschirmung, Biol. Schild:  
Anpassung Einhausung; Montage von Hubwerk Zellenkran, Energieketten, Containerschleuse, Lüftungsanlage; Inbetriebnahme Werkzeugträgersystem für Abbau Wärmeisolierung; Schulung und Erprobung des Hebewerkzeugs im Mockup für den Ausbau Primärabschirmung; Fortsetzung Planung Abbruchgerät für Abbau Biol. Schild
10. SG:       Abbau Restsysteme, Dekontamination, Abriss Gebäude:  
Einreichung Sicherheitsbericht
- Kühlfällen:  Zerlegen der 3. Kühlfalle und anschließendes Waschen der Zerlegeteile.

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

Keine.

### 5. Kosten

Kosten bisher (von 1992 bis 06/2009):	271,8 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	3,8 Mio. €
Zukünftige Kosten:	39,7 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Land 10 %

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungsgesellschaft mbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung des Mehrzweck-Forschungsreaktors (MZFR)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1985 bis 2012	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 311,4 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Eisenmann

## 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Der Mehrzweckforschungsreaktor im Forschungszentrum Karlsruhe war ein schwerwassergekühlter und –moderierter Druckwasser-Reaktor (elektrische Bruttoleistung 57 MWel). 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 Konzept sieht einen vollständigen Rückbau in acht Stilllegungsgenehmigungen (SG) vor:

- Außerbetriebnahme aller nicht benötigter Systeme, Trocknung der D<sub>2</sub>O-Systeme, Reduzierung weiterhin benötigter Hilfsanlagen, Abbau Heizwasserversorgung; Demontage von Kraftwerksanlage, Abwasseraufbereitung, Notstromanlage; Abriss der Kühltürme; Demontage Reaktorhilfssysteme, Abbau Sekundärsystems im Reaktorgebäude, Dekontamination Primärsystem; Abbau Zaunanlage; Demontage Primärsystem und Reaktorsysteme im Reaktorgebäude; Fernbediente Demontage Reaktordruckbehälter mit Einbauten (1.-7. SG)
- Abbruch des aktivierten Teils des Biol. Schildes, Dekontamination und Abriss der Gebäude.

Die ersten sieben Schritte sind abgeschlossen.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Im 2. Halbjahr 2009 wurden folgende Arbeiten durchgeführt: Zuarbeiten zu Fragestellungen des Gutachters zur „Reparatur Lademaschinenkran“ und zur Umrüstung des Reaktorrundlaufkrans auf die Transportaufgaben der 8. SG. Die erforderlichen Freigaben zur Umrüstung der Krananlagen stehen weiterhin aus. Fortführung der Umrüstmaßnahmen innerhalb des Reaktorgebäudes (Raum 401) auf die Erfordernisse zum Rückbau des aktivierten Teils des Biologischen Schildes. Abschluss des Umzugs der Zerlegeeinrichtungen (Hängegerüst mit Reinigungs- und Detektiergerät) aus dem Teststand in das Reaktorgebäude. Durchführung der Inbetriebsetzung für vorgenannte Einrichtungen mit dem Gutachter und Reinigen des Stahl liners des Bioschildes. Herstellung einer Bohrung durch das Biologischen Schildes als vorbereitende Maßnahme zum Einbau der Betonbefülleinrichtung. Abschluss des Ausbaus aller 12 Mauerrohre mittels ausbohren.

Vorbereitungsmaßnahmen zum Rückbau des aktivierten Teils des Biologischen Schilds: Die Traversen für Abbaubagger, Hängegerüst und Vorhaltegestell sind noch nicht verfügbar, die Fertigungsarbeiten hierzu wurden im 2. Halbjahr fortgeführt.

Schulung des Personals und Erprobungen in Testständen.

Zum Nachweis der Funktionsfähigkeit und dem ordnungsgemäßen Zusammenwirken der Betonbefülleinrichtung im Reaktorgebäude wurde die Einrichtung in einem eigenen Teststand des KIT aufgebaut, erprobt und dem Gutachter vorgeführt. Der Betonbrecher zur Zerkleinerung des Betonabbruchs aus dem aktivierten Teil des Bioschildes wurde hinsichtlich der Korngrößeneinstellung des Brechgutes optimiert, um Interventionen während des Einsatzes im Reaktorgebäude weitestgehend zu minimieren.

Die Umrüstung der Krananlagen sowie die Montagen der Kranhaken im Reaktorgebäude haben sich durch Lieferschwierigkeiten beim Lieferanten und zusätzlichen Forderungen des Gutachters (Konstruktionszeichnungen und Berechnungen für Normbauteile) wesentlich verzögert. Hierdurch ist mit einer Verfügbarkeit der für die 8. SG erforderlichen Krankonfiguration nicht vor Januar 2010 zu rechnen. Dies verzögert den Beginn des Rückbaus des Bioschildes.

Das System „Radioaktives Abwasser“ wurde im 3. Quartal 2009 derart umgebaut, dass Reaktorgebäude und Hilfsanlagen entkoppelt sind. Die Inbetriebnahme der separierten Teilsysteme und die Demontage der hierdurch nicht mehr erforderlichen Leitungsabschnitte sind erfolgt.

Die Kürzung des Fortluftkamins von 99,5 m auf ca. 18,5 m mit Anpassung der Abluftventilatoren wurde abgeschlossen.

Die Planungsleistungen für die Entkoppelung der Infrastruktur zwischen den einzelnen MZFR-Gebäuden durch Ersatzmaßnahmen (Lüftung, E-Versorgung) wurden fortgeführt.

### **3. Geplante Weiterarbeit**

8. SG - Rückbau aktivierter Teil des Biol. Schildes, Dekontamination. und Abriss Gebäude: Teststand für Zerlegung Biolog. Schild - Planung/Einbau Transport- und Verpackungseinrichtungen für abgebauten aktivierten Beton; Erprobung der Einrichtungen; Planung zur Errichtung Halle für Verarbeitung des abgebauten Betonschutts; Vorbereitende Dekontaminationsarbeiten in Nebengebäuden; 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 12/2009):	273,6 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	5,7 Mio. €
Zukünftige Kosten:	32,1 Mio. €
Geldgeber:	Bund 100 %

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe Rückbau- und Entsorgungsgesellschaft mbH, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung und Rückbau der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (StiWAK)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1991 bis 2023 (2035)	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 2.631,0 Mio. € (Projektkostenschätzung 2007)	<b>Projektleiter:</b> 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 Fernhandlung, 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 Betriebshandbuchs 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 fernhandlierte 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

In der *Verglasungsanlage Karlsruhe* (VEK) wurde nach der Heißen Inbetriebnahme am 16.09.2009 bis zum 31.12.2009 48 Kokillen produziert und ein CASTOR-Behälter mit 28 Kokillen befüllt. Der Betrieb verlief störungsfrei.

Im Jahr 2009 wurden aus dem *Prozessgebäude (Schritt 3)* ca. 209 Mg Demontagemassen (Stahlbau, Beton und Kabel) ausgebracht und ca. 203 Mg zur Entsorgung an die HDB abgegeben.

Das radiologische Mess- und Probenahmeprogramm zur Feststellung kontaminierter Betonstrukturen wurde fortgeführt und festgestellte Kontaminationen unmittelbar beseitigt.

Die Abarbeitung der Gutachtensbedingungen und die Erstellung revidierter Antragsunterlagen im Rahmen der *Deregulierung nach Verglasungsende (Schritt 4)* wurden fortgeführt und abgeschlossen.

Die Fernhantierungstechnik zum Rückbau der MAW-Behälter HWL (*HAWC-Anlagen Schritt 5*) ist einsatzbereit. Entsprechend dem Ergebnis der im März 2009 durchgeführten Feststoffprobenahme aus dem HAWC-Lagerbehälter 81.21 wurde mit der Planung der fernhantierten Demontage der HAWC-Behälter und Entsorgung des Feststoffes begonnen.

Für die Demontage des LAVA-HA-Labors und der LAVA-Zellen wurden die Beschaffungen (Manipulatorsysteme, Krananlagen) ausgeschrieben bzw. beauftragt.

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

## 3. Geplante Weiterarbeit

### WAK-Rückbau:

**VEK:** Fortführung und Abschluss des nuklearen Probebetriebes mit Verglasung der gesamten HAW-Lösung einschließlich entstehender Spüllösungen.

**Schritt 3:** Fortführen der Demontearbeiten in weiteren Prozesszellen. Fortführung radiologischer Messungen und Dekontaminationsarbeiten.

**Schritt 4:** Umsetzung der Deregulierungsmaßnahmen nach Genehmigungserteilung. Fortsetzung der Arbeiten am Konzept für ein Stilllegungshandbuch (SHB) mit reduziertem Umfang an Regelungen nach Abschluss des VEK-Betriebes und Rückbaus. Erstellung der Änderungsanzeige zur weiteren Anpassung der Betriebsorganisation.

**Schritt 5:** Fernhantierte Demontage der MAW-Behälter. Erhalt des Gutachtens sowie Fortsetzung der Beschaffung von Neueinrichtungen für den Rückbau der LAVA-Zellen. Erhalt des Gutachtens und der Genehmigung für die Demontage der HAWC-Behälter.

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

J. Fleisch, M. Weishaupt, W. Pfeifer / WAK GmbH; G. Roth, W. Grünewald / Forschungszentrum Karlsruhe GmbH: "Decommissioning of the Former German Reprocessing Site WAK: Dismantling of the HLLW storage tanks Status of Vitrification Plant (VEK)", WM'09 Conference, Phoenix, AZ, March 1-5, 2009

Joachim Dux, Oliver Fath, Klaus Hendrich, Klaus Heger / WAK GmbH: "Demontage von hochkontaminierten HAWC-Lagerbehältern – Neue Erkenntnisse und Herausforderungen beim Rückbau der WAK", KONTEC 2009, 15. - 17. April 2009, Dresden

J. Fleisch, H. Kuttruf, M. Weishaupt / WAK GmbH; G. Roth, W. Grünewald / Forschungszentrum Karlsruhe GmbH: "Verglasungsanlage VEK – Nukleare Inbetriebsetzung und Heißer Verglasungsbetrieb", Jahrestagung Kerntechnik, 12. - 14. Mai 2009, Dresden

Oliver Fath, Christian Held, Joachim Dux / WAK GmbH: „Fernhantierter Rückbau der hochkontaminierten HAWC-Lagertanks der WAK“ Jahrestagung Kerntechnik, 12. -14. Mai 2009, Dresden

Joachim Reinelt / WAK GmbH: „Decommissioning of the German Reprocessing Facility WAK – Experiences in Cost Modelling and Status of Verification“, 2nd Meeting of DCEG, Stockholm, Sweden, 16-18 June 2009

## 5. Kosten

Kosten bisher (von 07/1991 bis 06/2009):	1.512,2 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum (07 bis 12/2009):	45,7 Mio. €
Zukünftige Kosten (PKS 2007):	1.073,1 Mio. €
Geldgeber:	Bund, Land, Industrie



## **1.4 THTR 300**

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

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

Die Anlage THTR 300 war als Prototyp für Kernkraftwerke mit Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktor errichtet worden. Sie war ein mit Helium gekühlter grafitmoderierter Reaktor mit kugelförmigen keramischen Betriebselementen. Es handelte sich um eine Zweikreisanlage, bestehend aus einem Helium-Primärkühlkreislauf mit nach geschaltetem 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 wurden 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 Elektroanlagengebäude, die Notstromdieselanlage, die Trafoanlagen, die Zellenkühltürme, die über- und unterirdischen Verbindungen u. s. w. wurden aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen.

Die Brennelemente sind aus der Anlage THTR 300 abtransportiert worden. Lediglich innerhalb des Spannbetonreaktordruckbehälters befindet sich noch ein durch Entladung technisch nicht entfernbarer Rest von < 2,5 kg.

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

Die Dauer des sicheren Einschlusses ist genehmigungsseitig nicht befristet. Im Jahr 2017 ist die Behörde zu unterrichten 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 2009 ist für die sicher eingeschlossene Anlage THTR 300:

das 20. Jahr nach der Abschaltung,

das 14. Jahr nach der Beendigung der Entladung des Reaktorkerns,

das 12. 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 festangestellte technische Mitarbeiter der HKG betraut.

Im Berichtsjahr 2009 war kein meldepflichtiges Ereignis zu verzeichnen.

2009 fiel in der sicher eingeschlossenen Anlage kein zu entsorgendes Abwasser an und somit trat auch keine Aktivitätsabgabe in die Umgebung über diesen Pfad auf.

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 für Aerosole und C14 Werte unter der Nachweisgrenze aus. Lediglich H3 liegt mit 0,02 % des genehmigten Ableitungsgrenzwertes über der Nachweisgrenze.

Aus dem Überwachungsbereich wurden diverse Kleinkomponenten aus Heliumdetektionseinrichtungen (u. a. Helium-Lecktester, Messumformer, Nadelventile, Magnetventile, Kleinleitungen, Membranpumpen, Mess- und Registriereinrichtungen) ausgebaut und einer Hochschule für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung gestellt werden. Im Berichtszeitraum wurde das bisher gültige Nuklidspektrum für die Anlage THTR 300 für den Zeitraum 1988 bis 2008 neu bestimmt und bis 2043 festgeschrieben.

Die verkehrsrechtliche Zulassung 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 Eisen-erzgrube Konrad in Betracht. Es wird derzeit von einer Inbetriebnahme im Jahr 2015 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. Armaturen, Pumpen, Kabel und Motore. 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. €

Geldgeber:

Bund, Land NRW, Gesellschafter der  
HKG

## **1.5 Projekt MAREN bei GKSS**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Postfach 11 60, 21494 Geesthacht	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entsorgung radioaktiver Reststoffe (Projekt MAREN-1)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 2002 bis 2012	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 36,8 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> N. Stehr

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

GKSS Forschungszentrum GmbH ist Betreiber des Forschungsreaktors FRG-1, des Bereiches „Heißes Labor“ (HL) sowie der Landessammelstelle für die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle. In der Zuständigkeit der GKSS befinden sich außerdem Teile des stillgelegten Forschungsreaktors FRG-2 sowie die in Zwischenlagerung befindlichen radioaktiven Komponenten des stillgelegten Kernenergie-forschungsschiffes NS Otto Hahn (OH).

Im Projekt MAREN-1 werden kurzfristig notwendige Maßnahmen, die dringlich und zur Aufrechterhaltung der nuklearen Sicherheit am Standort erforderlich sind, abgewickelt. Die aus dem Betrieb der kerntechnischen Anlagen angefallenen und anfallenden radioaktiven Reststoffe und Abfälle unterliegen im Rahmen des Projektes der Sammlung, Bilanzierung, Konditionierung und Zwischenlagerung bis zur späteren Entsorgung in ein Endlager. Dies 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 Zwischenlagerkapazitäten 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)  
Sachverständigentätigkeiten, Dokumentation und Vorbereitung Rückführung abgefertigter Gebinde. Einleitende Arbeiten Mengenerhöhung
- FRG-MAW Reflektoren, Steuerstäbe (232)  
Bestandsaufnahme, Charakterisierung
- Entsorgung FRG-Brennelemente (235)  
Vorbereitende Arbeiten für den Transport 2010 in die USA
- Betriebsabwässer (236)  
Abtransport und Konditionierung von 100 m<sup>3</sup> Betriebsabwässer durch GNS/FZJ
- OH- Reaktordruckbehälter (225)  
Erstellung eines technischen Konzepts zum Transport und zur Konditionierung des Reaktordruckbehälters
- Vorbereitung Stilllegung und Rückbau (240)  
Überprüfung Baustatik FRG und Vorbereitung Dokumentation Rückbau
- Aufarbeitung OH-Brennstäbe aus Bestrahlungsexperimenten (223)  
Vorbereitung transportrelevanter Infrastrukturen, Verpackung und Transport
- Längerfristige Zwischenlagerung (227, 237, 238, 239)  
Weitere Abwicklung notwendiger Wartungs- und Infrastrukturmaßnahmen (Wartung / Instandhaltung im Heißen Labor, Abschlussarbeiten Demontage Bleizellen im Heißen Labor, Sachverständigentätigkeit).

## 3. Geplante Weiterarbeit

- Konditionierung LAW (221, 231): Verbrennung, Einschmelzung und HD-Verpressung von FRG- und OH-Abfällen, Rückführung abgefertigter Gebinde, Datenübertragung Dokumentation, Vorbereitung Mengenerhöhung
- Betriebsabwässer (236): Abtransport betrieblicher Abwässer zur Konditionierung bei FZJ
- OH-Brennstäbe (223): Vorbereitung, Verpackung und Transport
- OH-RDB (225): Gutachtertätigkeiten hinsichtlich RDB-Entnahme und Transport
- Entsorgung bestrahlter FRG-BE (235): Transport von Brennelementen in die USA
- Konditionierung MAW ( 232): Datenzusammenstellung, Konzept- und Informationsbearbeitung, Koordination
- Abschaltung und Übergang Nachbetriebsphase FRG-1
- Erstellung eines technischen Konzepts zum Rückbau kerntechnischer Einrichtungen unter Beachtung des Stands der Technik. Sachverständigentätigkeit und Koordination (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):	27,0 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	2,6 Mio. €
Zukünftige Kosten:	9,8 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Länder 10 %



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

### 2.1 Fördervorhaben

* 02 S 8335	Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung	<b>Technische Universität Darmstadt</b>	📖 32
* 02 S 8355	Molekulare und zelluläre Wirkung dicht ionisierender Strahlen	<b>Gesellschaft für Schwerionenfor- schung mbH, Darmstadt</b>	📖 34
02 S 8376	Bestimmung von Endlager-relevanten, langlebigen Radionukliden mittels radiometrischer und spezieller massenspektrometrischer Verfahren	<b>TU München</b>	📖 36
* 02 S 8416	Das Phänomen der Hyperradiosensitivität und deren Modulation durch den Radioprotektor Phosphotyrosin	<b>Eberhard-Karls- Universität Tübingen</b>	📖 38
* 02 S 8427	Genomische Instabilität durch Doppelstrangbrüche: Bedeutung des Singlestrand annealing	<b>Universitätsklini- kum Hamburg- Eppendorf</b>	📖 40
02 S 8437	Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen	<b>Leibniz Universität Hannover</b>	📖 42
02 S 8447	Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen	<b>BÜDIAM Dia- mantwerkzeuge, Eschenburg</b>	📖 44
* 02 S 8457	Untersuchung von epigenetischen Effekten nach Bestrahlung menschlicher Zellen	<b>Ludwig- Maximilians- Universität Mün- chen</b>	📖 46
* 02 S 8467	Regulationsmechanismen eukaryotischer DNA Replikation nach Bestrahlung	<b>Universitätsklini- kum Essen</b>	📖 48
* 02 S 8477	Regulation der Nicht-homologen Endverknüpfung durch post-translationelle Modifikation	<b>Karlsruher Institut für Technologie (KIT)</b>	📖 50
02 S 8487	Konstruktion, Herstellung, Beschichtung, Prüfung und Handhabung langzeitstabiler Gebinde zur sicheren Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen	<b>Leibniz Universität Hannover</b>	📖 52
* 02 S 8497	Induktion und Transmission von genetischen Schäden nach Hoch-LET Bestrahlung: In vivo und in vitro Untersuchungen	<b>Gesellschaft für Schwerionenfor- schung mbH, Darmstadt</b>	📖 54

<b>02 S 8507</b>	Verfahren zur selektiven Tritium-Extraktion aus wässrigen Abfalllösungen und langzeitstabilen Bindung auf einem Träger	<b>TU München</b>	📖 56
<b>02 S 8517</b>	Uranaufnahme	<b>Friedrich-Schiller-Universität Jena</b>	📖 58
<b>02 S 8528</b>	Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließende Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHYTOREST)	<b>Friedrich-Schiller-Universität Jena</b>	📖 60
<b>02 S 8538</b>	Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließender Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHYTOREST)	<b>TU Dresden</b>	📖 62
<b>02 S 8548</b>	Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie	<b>Karlsruher Institut für Technologie (KIT)</b>	📖 64
<b>02 S 8558</b>	Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie	<b>TU Dresden</b>	📖 66
<b>02 S 8578</b>	Strahlenschutzaspekte bei der Auswahl von Abbau- und Dekontaminationstechniken	<b>GRS Köln</b>	📖 68
<b>02 S 8588</b>	Handhabungs- und Transportkonzepte zur Entsorgung radioaktiver Reststoffe aus Stilllegung und Rückbau: Entwicklung rechnerischer Analysemethoden für stoßdämpfende Strukturen beim Anprall oder Absturz von Abfallgebinden (ENREA)	<b>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin</b>	📖 70
<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)	<b>WTI Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH, Jülich</b>	📖 72
<b>02 S 8608</b>	ASTU Automatische Seilsägetechnologie für Unterwasserdemontage	<b>Karlsruher Institut für Technologie (KIT)</b>	📖 74
<b>02 S 8619</b>	EDV-Programm zur Unterstützung und Dokumentation der Gebäudedefreigabe kerntechnischer Anlagen (PUG)	<b>Brenk Systemplanung GmbH, Aachen</b>	📖 76
<b>02 S 8629</b>	Prozessentwicklung zur trockenen Bearbeitung von metallischen und mineralischen Strukturen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (ProBeSt)	<b>Leibniz Universität Hannover</b>	📖 78
<b>02 S 8639</b>	Neue Verfahrenstechnik zur Dekontamination und Probenahme in kontaminierten Rohrleitungen mittels Vibrationstechnik	<b>SAT Kerntechnik GmbH, Worms</b>	📖 80

<b>02 S 8649</b>	Verbundprojekt: Innovativer Abbruch massiger Stahlbetonstrukturen (INAS)	<b>HERRENKNECHT AG, Schwanau</b>	82
<b>02 S 8659</b>	Verbundprojekt: Innovativer Abbruch massiger Stahlbetonstrukturen (INAS)	<b>Karlsruher Institut für Technologie (KIT)</b>	84
<b>02 S 8669</b>	Nutzung von Bremsstrahlungsinformationen für die zerstörungsfreie Charakterisierung radioaktiver Abfälle	<b>TU München</b>	86
<b>02 S 8679</b>	Status quo der Lagerung ausgedienter Brennelemente aus stillgelegten / rückgebauten deutschen Forschungsreaktoren und Strategie (Lösungsansatz) zu deren künftigen Behandlung / Lagerung	<b>DBE Technology GmbH, Peine</b>	88
<b>02 S 8689</b>	TENORM-Sanierung im Spannungsfeld zwischen Experteneinschätzungen und Alltagswahrnehmung - TESSA	<b>Leibniz Universität Hannover</b>	90
<b>02 S 8699</b>	Innovative Lichtbogenverfahren für die Stilllegung und den Rückbau kerntechnischer Anlagen - Hot-Wire-Plasmaschneiden und Lichtbogen-Sauerstoff-Impulsschneiden (Inno-Cut)	<b>Leibniz Universität Hannover</b>	92

**\* Strahlenforschungsvorhaben**



## **2.2 Formalisierte Zwischenberichte**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Darmstadt, Karolinenplatz 5, 64289 Darmstadt		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8335</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2005 bis 31.12.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 496.151,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Löbrich	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

#### AP4: DSB-Reparatur nach niedrigen Dosen ionisierender Strahlung

Im vorherigen Berichtszeitraum wurde im Mausmodell gezeigt, dass auch in vivo die Reparaturkapazität bei niedrigeren Dosen abnimmt. Da dieses Phänomen für den Strahlenschutz von höchster Relevanz ist, sollen zukünftig die zugrunde liegenden Mechanismen untersucht werden. In anderen Studien wurde beobachtet, dass Zellen, welche einen hohen Hintergrund an unreparierten DSBs besitzen oder durch z. B. Proliferation einem hohen oxidativen Stress ausgesetzt sind, nach Niedrig-Dosis-Bestrahlung keine residualen Restschadenslevels aufweisen. Daher wurde vermutet, dass sich oxidativer Stress, wie er in proliferierenden Geweben oder bei Bestrahlung mit höheren Dosen auftritt, positiv auf die DSB-Reparatur auswirken könnte. Um dies zu testen, wurden in vitro Zellen vor Bestrahlung mit niedrigen Konzentrationen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> behandelt und im Anschluss die Reparatur nach Niedrig-Dosis-Bestrahlung gemessen. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass in der Tat der oxidative Stress die DSB-Reparatur begünstigen könnte (1).

#### AP4: G1/S-Checkpoint-Messungen in lebenden Zellen

Im vorherigen Berichtszeitraum wurde das Einsetzen des G1/S-Checkpoints nach Bestrahlung in lebenden Zellen, welche mit Konstrukten für den S-Phase-Marker LigI-pDsRed und den DSB-Marker 53BP1-GFP transfiziert wurden, mittels Life-Cell-Imaging untersucht. Dabei zeigte sich, dass der G1/S-Checkpoint erst 5-6 h nach Bestrahlung einsetzt was dazu führt, dass in den ersten Stunden nach Bestrahlung Zellen mit einer erhöhten Anzahl an Strahleninduzierten DSBs in die S-Phase eintreten. In diesem Berichtszeitraum wurden die Experimente über längere Zeiten ausgedehnt. Dabei zeigte sich, dass diese Zellen durch die S-Phase in die G2-Phase progressieren. Dabei wiesen sie durchgehend ein erhöhtes Schadensniveau auf. Nach 5-6 h ist ein deutliches Einsetzen des G1/S-Checkpoints zu beobachten, wobei dieser Prozess sehr sensitiv auf unreparierte DSBs reagiert. Dennoch sind auch nach dem Einsetzen einzelne Zellen in der Lage, den G1/S-Checkpoint aufzuheben, bevor die Reparatur komplett abgeschlossen ist. Diese Ergebnisse wurden auch mit konventionellen Methoden bestätigt. Die Limitierung des G1/S-Checkpoints ist für den Strahlenschutz von Relevanz, da eine Replikation des Genoms in Anwesenheit unreparierter DSBs das Risiko einer Fehlreparatur und somit der Ausbildung chromosomaler Rearrangements erhöht (2).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### AP4: DSB-Reparatur nach niedrigen Dosen ionisierender Strahlung

In weiteren Experimenten soll der Einfluss von oxidativem Stress auf die DSB-Reparatur näher untersucht und die bisherigen Ergebnisse validiert werden.

#### AP4: Zellzyklus-Messungen in lebenden Zellen

In der Lebendzell-Mikroskopie sollen Zellen, die mit unreparierten DSBs den G1/S-Checkpoint überwinden, im weiteren Verlauf des Zellzyklus genauer untersucht werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Grudzenski, S., Rube, C., Löbrich, M., *Proc. Natl. Acad. Sci.*, eingereicht

Deckbar, D., Stiff, T., Koch, B., Reis, C., Löbrich, M., Jeggo, P., *Cancer Res*, in Revision

<b>Zuwendungsempfänger:</b> GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8355</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Molekulare und zelluläre Wirkung dicht ionisierender Strahlen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2006 bis 31.12.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 2.189.464,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

Während des Berichtszeitraums wurde von der Arbeitsgruppe „Molekulare Strahlenbiologie“ die Betreuung weiterer Diplomarbeiten sowie weiterer Forschungspraktikanten übernommen. Im WS09/10 wurde eine Vorlesung „Molekulare Strahlenbiologie“ sowie Seminare im Rahmen des Diplom- als auch des BA-Studiengangs durchgeführt. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme einer weiteren Röntgenröhre wurde die Überführung einer Alpha-Quelle aus Homburg/Saar an die TUD genehmigt, wodurch das Spektrum an Bestahlungsmöglichkeiten für die Arbeitsgruppen des Fachbereichs erweitert werden wird.

Die Forschung der Arbeitsgruppe „Molekulare Strahlenbiologie“ konzentrierte sich auf die Frage, inwieweit die Komplexität eines DNA-Doppelstrangbruches sowie dessen Lokalisation innerhalb des Genoms, einen Einfluss auf die Wahl des Reparaturweges haben (1). Die Messungen ergaben: Heterochromatin-assoziierte Brüche werden langsamer repariert als Brüche im Euchromatin und in der G2-Phase der Homologen Rekombination zugeführt (2). „Einfache“ Brüche werden schnell über den Weg des NHEJ repariert, während der Anteil der langsameren Homologen Rekombination mit der Komplexität der Brüche zunimmt. D. h. Brüche verbleiben entweder aufgrund ihrer Zugänglichkeit oder ihrer Komplexität lange unrepariert und können dann durch den fehlerfreien Mechanismus der Homologen Rekombination repariert werden.

Die Umbauten für die Arbeitsgruppe „Molekulare Zellbiologie“ wurden am 18.12. 2009 beendet, so dass die Abteilung nun voll arbeitsfähig ist. Mit einem neuen Spinning Disk Konfokalmikroskop, das auch Lasermikrobestrahlung ermöglicht, wurde gezielt die Reparatur von heterochromatischen DNA Schäden untersucht. Die Prozesse der Chromatindekondensation wurden mit früheren Ergebnissen der GSI Arbeitsgruppen in einem ausgiebigen Workshop im November 2009 an der TU verglichen. Die gemeinsamen Gruppenseminare mit der „AG Strahlenbiologie“ an der TU-Darmstadt werden im monatlichen Turnus mit dem Ziel eines engen wissenschaftlichen Austausches (4, 5) fortgeführt.

Im direkten Vergleich zwischen ionisierender und nichtionisierender Strahlenqualität wurde mit Einzelzellgelelektrophorese (Comet-assay) eine Korrelation zwischen Laser-mikrobestrahlung und  $\gamma$ -Bestrahlung etabliert (3). Eine neue Kooperation mit der GSI und der Abteilung Chen (MDC, Berlin) untersucht die Induktion und Reparatur auf genomischer Ebene mit Hochdurchsatzsequenzierung von DNA Sequenzen. Im SS09 wurde die Vorlesung/Seminar und Praktikumseinheit „Molekulare Zellbiologie“ abgehalten.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im SS10 werden beide TUD-Arbeitsgruppen die Betreuung weiterer Diplomarbeiten und Forschungspraktikanten aus dem Fachbereich Biologie der TUD übernehmen. Im WS09/10 und im SS10 werden Vorlesungen und Praktika für die Bachelor Biologie Studenten im Grundstudium, sowie das Fortgeschrittenenseminar und Vorlesung zum Thema Molekulare Zellbiologie und Epigenetik angeboten. Für Diplom Studenten wird ein Fortgeschrittenpraktikum mit Schwerpunkten Strahlenbiologie/Strahlenbiophysik und Zellbiologie/Lebendzellmikroskopie/ Genotoxizität angeboten.

Die „Molekulare Strahlenbiologie“ wird die DSB-Reparatur im Hinblick auf die Chromatinorganisation und die Komplexität der Brüche mit Schwerpunkt: Heterochromatin-assoziierten Faktor KAP1 und die Nuklease Artemis fortführen. Die „Molekulare Zellbiologie“ wird ab Januar 2010 den vollen Laborbetrieb aufnehmen können und DNA Schäden im Heterochromatin mit Schwerpunkt unterschiedliche Induktionsrate und Persistenz der Schäden untersuchen. Es soll geklärt werden, wieweit die Reparatur von DSBs in Heterochromatin besondere Signalwege und Reparaturfaktoren benötigt (Schwerpunkt: MBD4, eine Heterochromatin spezifischen Glycosylase).

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

M. Löbrich, A. Shibata, A. Fisher, M. Ensminger, A. Goodarzi, O. Barton, P. Jeggo, 2010, Cell Cycle, in press.

A. Beucher, J. Birraux, L. Tchouandong, O. Barton, A. Shibata, S. Conrad, A. Goodarzi, A., Krempler, P. Jeggo, M. Löbrich, 2009, EMBO J. 28(21):3413-27.

P. Grigaravičius, A. Rapp and KO Greulich, 2009, Mutagenesis 24(2):191-7.

A. Becker, et al., Chromatin decondensation after DNA damage visualized by DNA binding proteins, *in preparation*

A. Rapp, et al., HP1 plays a role in post repair chromatin reorganization, *in preparation*.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8376</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Bestimmung von Endlager-relevanten, langlebigen Radionukliden mittels radiometrischer und spezieller massenspektrometrischer Verfahren		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2006 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 973.314,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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 Fremdkativitäten 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

Die Aktivitäts- und MS-Messungen zur Halbwertszeitbestimmung von  $^{79}\text{Se}$  sind abgeschlossen worden, ein Manuskript mit dem Ziel der Publikation wurde angefertigt.

$^{166\text{m}}\text{Ho}$  wurde im Forschungsreaktor produziert, die radiochemische Reinigung wurde mittels Tracern im Rahmen einer FH-Diplomarbeit erfolgreich ausgearbeitet. Die radiochemische Reinigung des produzierten  $^{166\text{m}}\text{Ho}$  wurde durchgeführt mit dem Ziel der Halbwertszeitbestimmung dieses langlebigen Nuklids, dessen Halbwertszeit in der Literatur lediglich einmal mit einer Unsicherheit von 15 % beschrieben ist.

Die experimentellen Arbeiten zur Halbwertszeitbestimmung von  $^{176}\text{Lu}$  sind bei der PTB weiterhin im Gange.

$^{41}\text{Ca}$  wurde nochmals in größerer Aktivitätsmenge aus Borosilicatglas isoliert und radiochemisch gereinigt. Über einen Kontakt in Australien ist diese Probe nochmals zur Bestimmung der Halbwertszeit vorgesehen.

#### Ergebnisse:

Das Manuskript zur Halbwertszeitbestimmung von  $^{79}\text{Se}$  befindet sich im internen review, es ist für Februar zur Publikation vorgesehen. Die Halbwertszeit konnte gegenüber den bisher publizierten Daten mit wesentlich verbesserter Präzision bestimmt werden. Die Wichtigkeit von  $^{79}\text{Se}$  und dessen schwierige experimentelle Zugänglichkeit rechtfertigen den Zeit- und Arbeitsaufwand.

Die FH-Diplomarbeit konnte die radiochemische Reinigung von  $^{166\text{m}}\text{Ho}$  erfolgreich ausarbeiten. Die Abtrennung störender Fremdaktivität sowie isobarer Interferenzen gelang effektiv. Das produzierte  $^{166\text{m}}\text{Ho}$  wurde radiochemisch gereinigt und die Stammlösung charakterisiert.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Das im Forschungsreaktor produzierte  $^{166\text{m}}\text{Ho}$  soll zur Halbwertszeitbestimmung herangezogen werden. Die Teilchenzahlbestimmung soll am RCM mittels ICP-HRMS erfolgen, die exakte Aktivitätsbestimmung bei der PTB.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Wilhelmstr. 7, 72074 Tübingen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8416</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Das Phänomen der Hyperradiosensitivität und deren Modulation durch den Radioprotektor Phosphotyrosin		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2007 bis 30.06.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 220.644,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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 dose*“ vs. „*low dose*“ Bestrahlung.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### 3.1 Zeit- und Dosisabhängigkeit der Induktion von DNA-Doppelstrangbrüchen im niederen Dosisbereich

Das Ausmaß der induzierten Doppelstrangbrüche im niederen Dosisbereich wurde mithilfe des  $\gamma$ H2AX-Assays in konfluenten A549 Zellen erfasst. Es wurden die Effekte einer Niedrigdosis-Bestrahlung mit 20, 50, 100 mGy gegenüber einer Bestrahlung mit 1 bzw. 3 Gy verglichen. Hierbei zeigte sich, dass nach beiden Bestrahlungsdosen eine eindeutige Focusformation erst 60 min post Radiatio beobachtbar war. Die Anzahl der gebildeten Foci war hierbei dosisabhängig, während sich die Focusgröße als dosisunabhängig darstellte. Die Anzahl der induzierten Foci entsprach der erwarteten Anzahl (pro 1 Gy erwartet man etwa 20 Doppelstrangbrüche und damit 20 Foci). Diese Übereinstimmung konnte eindeutig im „hohen“ Dosisbereich (1 bzw. 2 Gy: erwartet 40, gefunden 39,8) beobachtet werden, ließ sich aber auch im niederen Dosisbereich (z. B. 20 mGy erwartet 0,5, gefunden 0,5) nachweisen

#### 3.2 Dosisabhängigkeit der nicht reparierten, residuellen Doppelstrangbrüche

Arbeiten zur DNA-Reparatur belegen, dass DNA-Doppelstrangbrüche, die 24 h nach Schadensetzung als nicht repariert vorliegen, als sogenannte residuelle DNA-Doppelstrangbrüche ein Maß für die Effektivität der DNA-Reparatur darstellen, da die Reparatur von DNA-Schäden nach 24 h als abgeschlossen gilt. Im „hohen“, d. h. therapeutischen Dosisbereich (> 1 Gy) geht man davon aus, dass ca. 95-97 % der durch ionisierende Strahlung induzierten DNA-Doppelstrangbrüche nach 24 h repariert sind. Beim Vergleich der mit einer definierten Dosis induzierten Doppelstrangbrüche mit der Anzahl der nicht reparierten Doppelstrangbrüche nach 24 h, zeigte sich, dass vor allem Schäden, die durch eine niedrige Strahlendosis induziert wurden, nicht so effektiv repariert wurden wie Schäden, die durch eine hohe Dosis induziert wurden. So zeigte sich, dass nur etwa die Hälfte der Schäden, die durch eine Bestrahlung im Dosisbereich 20–50 mGy induziert wurden, nach 24 h repariert war. Schäden, die durch eine Dosis von 2 Gy induziert wurden, waren zu diesem Zeitpunkt zu einem deutlich höheren Prozentsatz repariert (95-97 %). Erst ab einer Dosis von etwa 100 mGy findet man eine Reparatur von etwa 80 % und erreicht damit eine Reparatureffektivität, die sich der Effizienz bei Dosen > 1 Gy angleicht. Diese Beobachtung lässt vermuten, dass für eine effiziente Reparatur von DNA-Doppelstrangbrüchen eine Minimaldo-

sis notwendig ist, unter der das Risiko einer unvollständigen DNA-Doppelstrangbruch-Reparatur mit dem Dosisabfall ansteigt.

### *3.3 Beeinflussung der Anzahl residueller Doppelstrangbrüche durch Vorinkubation mit dem Radioprotektor Phosphotyrosin*

Für die Analyse, wie die in früheren Untersuchungen im hohen Dosisbereich ermittelte radioprotektive Eigenschaft von Phosphotyrosin auch im Niederdosisbereich gegeben ist, wurden A549-Zellen vor Strahlenexposition (0, 20, 50, 100, 2000 mGy) für 16 h mit Phosphotyrosin behandelt. 24 h nach Strahlenexposition wurden die residuellen DNA-Doppelstrangbrüche unter den gewählten Bedingungen des  $\gamma$ H2AX-Focus erfasst. Es wurde gezeigt, dass die Vorinkubation von A549-Zellen mit Phosphotyrosin erst ab einer Dosis von 50 mGy in einen signifikanten radioprotektive Effekt auftrat. Auf der Basis dieses Ergebnisses und der Kenntnis, dass Phosphotyrosin zumindest im hohen Dosisbereich zu einer Aktivierung der DNA-Reparaturmaschinerie führt, kann geschlossen werden, dass es eine Schwellendosis gibt, unter der keine Aktivierung von molekularen Prozessen stattfindet, die für die Stimulation der DNA-Reparatur essenziell sind. Inwiefern dies per se mit strahleninduzierten Signalkaskaden einerseits oder mit der Induktionsmenge von DNA-Doppelstrangbrüchen andererseits zusammenhängt, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht abschließend beantwortet werden.

### *3.4 Potenzielle Beteiligung der EGFR-Signalkaskade bei der Induktion von DNA-Reparatur-relevanten Proteinen*

In früheren Untersuchungen wurde gezeigt, dass sowohl zytoplasmatische als auch nukleäre, EGFR-abhängige Signalkaskaden einen relevanten Beitrag zur Regulation der strahleninduzierten DNA-Doppelstrangbruchreparatur leisten. Weiterhin wurde eine direkte Interaktion des Radioprotektors Phosphotyrosin mit der Prozess der EGFR-Aktivierung nachgewiesen. Vor diesem Hintergrund wurden bzgl. der Aufklärung der molekularen Grundlagen der unter Pkt. 3.3 gezeigten Ergebnisse Analysen zur strahleninduzierten Translokation des EGFR in den Zellkernen vorgenommen. Hierbei wurden A549-Zellen mit 0, 10, 20, 50, 100 und 2000 mGy bestrahlt. Eine Stunde nach Strahlenexposition wurde die Akkumulation von EGFR im Zellkern mittels Western-Blot-Analytik nachgewiesen. Gleichzeitig wurde die Aktivierung der DNA-PK, welche ein Schrittmachenzym des NHEJ-Mechanismus der DNA-Doppelstrangbruchreparatur ist, über den Phosphorylierungsstatus des Aminosäurerests Threonin-2609 (pT2609) erfasst. Die Translokation des EGFR in den Zellkern ist erst ab einer Dosis von  $\geq 20$  mGy nachzuweisen. Wie schon früher gezeigt, ist die nukleäre Akkumulation des EGFR mit der Aktivierung der DNA-PK assoziiert. Es ist ersichtlich, dass bereits eine Dosis von 10 mGy zu einer Aktivierung der DNA-PK führen kann, die ohne eine entsprechende nukleäre EGFR-Akkumulation beobachtbar ist. Die deutliche Steigerung der DNA-PK-Aktivierung geht mit der nukleären Akkumulation von EGFR einher.

### *3.5 Zusammenfassung*

Eine effiziente Reparatur von Doppelstrangbrüchen im niederen Dosisbereich kann erst bei Strahlendosen  $> 50$  mGy beobachtet werden. Interessanterweise ist der radioprotektive Effekt von pTyr in dem untersuchten Zellsystem auch erst nach einer Bestrahlung mit einer Dosis  $> 50$  mGy auf signifikantem Niveau nachweisbar. Darüber hinaus ist ersichtlich, dass auch die effiziente Aktivierung der DNA-PK eine Mindestdosis von 50 mGy benötigt. Dies ist auch der Dosisbereich, ab dem eine stabile und markante Akkumulation des nukleären EGFR zu beobachten ist. Aus diesen Ergebnissen kann einerseits geschlossen werden, dass für die Induktion einer effizienten DNA-Reparatur im niederen Dosisbereich möglicherweise eine Schwellendosis erforderlich ist, die im Dosisbereich von 20-50 mGy zu liegen scheint. Andererseits ermöglichen diese Ergebnisse weitere Untersuchungen über den/die molekularen Regulationsprozess/e, welche/r im niederen Dosisbereich für eine effektive Induktion des DNA-Reparatur-Signalings notwendig sind. Hierbei scheint zu einem signifikanten Anteil auch der EGFR-Rezeptor eingebunden zu sein, der – wie früher gezeigt – auch für den radioprotektive Effekt von Phosphotyrosin erforderlich ist. Diese Ergebnisse zeigen jedoch auch, dass zumindest im untersuchten Zellsystem Phosphotyrosin als Radioprotektor (im Sinne der Reparaturreffektivität) im niederen Dosisbereich ( $\geq 50$  mGy) wirksam ist.

## **4. Geplante Weiterarbeiten**

Vor dem Hintergrund der dargestellten Ergebnisse zielen die geplanten Weiterarbeiten darauf ab, die molekularen Prozesse, die der effektiven Induktion der DNA-Reparaturmaschinerie in dem sogenannten Schwellendosisbereich von 20-50 mGy zugrunde liegen und durch Phosphotyrosin beeinflussbar sind, detailliert zu untersuchen.

## **5. Berichte, Veröffentlichungen**

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Martinistr. 52, 20251 Hamburg		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8427</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Genomische Instabilität durch Doppelstrangbrüche: Bedeutung des Single-strand annealing		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.03.2007 bis 28.02.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 242.558,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

Mithilfe transgener von uns entwickelter Reporterkonstrukte wurde in Hamster und Primatenzellen (Affe und humane Tumorzellen) wurde die Regulation zwischen den konkurrierenden Reparaturwegen Single-strand annealing (SSA), homologer Rekombination und nicht-homologem endjoining untersucht (zu AP1, 3 und 5) (Mansour et al. 2008, 2010. Die Zellzyklus abhängige Reparatur (SSA - AP2). Es wurden Methoden entwickelt, um erstmalig SSA und seine Regulation an Tumorzellextrakten untersuchen (zu AP1, 2, 3, 5).

Bisherige Ergebnisse: SSA hat neben den beiden Hauptreparaturwegen mit etwa 2-4 % einen nennenswerten Anteil an der Doppelstrangbruchreparatur in Nager und humanen Zellen. 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, dass normalerweise weder im nichthomologen Endjoining, noch im SSA beteiligt ist, dennoch in



die Regulation und Abstimmung dieser beiden Wege involviert ist. (Mansour et al. 2008) (Campos et al. 2009). Es konnte weiterhin erstmalig gezeigt werden dass SSA in Konkurrenz zu einer alternativen endjoining Form steht (Mansour 2008 und 2010), das wie SSA auch ein großes karzinogenes Potential trägt. In humanen Tumorproben wurden einzelne Tumoren gefunden, SKX (Kasten-Pisula et al. 2009) und zuletzt eine weitere Kopf-Hals-Tumorlinie (SCC4451), die außerordentlich viel SSA und dafür mangelhaft Endjoining ausführen. In 6 anderen Tumorzellen war die Rate nur gering erhöht. Es deutet sich, entsprechend unserer Ausgangshypothese tatsächlich an, dass in Tumorzellen DSB-Bruchenden häufig instabil sind und damit mutagene Wege wie SSA oder alternatives Endjoining begünstigt werden. In SKX konnte ein ATM-Defekt (eine Seltenheit!) und eine Translokation gefunden werden, von der noch nicht klar ist ob sie ursächlich ist (zu AP4).

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

- Untersuchung von Hamsterzellen mit Defekt im XRCC4 Gen, Regulation von SSA im Vergleich mit NHEJ und GC (zu AP1 und AP3).
- Inaktivierung von Rad52 über siRNA und Bestimmung der Rolle dieses zentralen SSA-Proteins für die Regulation aller drei Reparaturwege (AP1-3).
- Detaillierte Aufklärung des ATM-Defektes in SKX-Tumorzellen, der zu vermehrtem SSA führt (Erweiterung zu AP5). Klärung des Defektes in SCC4451 Zellen.
- Klärung ob die Translokation im Chromosom 11 (ATM Lokus?) in SKX Zellen auf SSA beruht (Modifikation von AP4).
- Fortsetzung biochemischer Reparaturassays an Extrakten weiterer Tumorzellen zunächst (Kopf-Hals- und Prostata Tumoren) (zu AP1, 2, 3, 5).

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

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 U.; Mansour W.Y.; Dahm-Daphi J. et al.: The extreme radiosensitivity of the squamous cell carcinoma SKX is due to a defect in DSB repair. *Radiother. & Oncol.* 90, 257-264 (2009)

Belmar Campos C. Degenhardt, S.; Mansour W.Y. Dahm-Daphi J.: DNA Doppelstrangbruchreparatur in CV1 Zellen. *Experimentelle Strahlentherapie und Klinische Strahlenbiologie* 18, 82-85 (2009).

Mansour W. Y., Rhein T. and Dahm-Daphi J.: The alternative end-joining pathway for repair of DNA double-strand breaks requires PARP1 but is not dependent upon microhomologies. *Nucleic Acids Research* (2010) under revision.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8437</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2007 bis 30.04.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 482.046,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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: Fertigstellung der Reibversuche mit angefertigten Reibstiften verschiedener Schneidstoffzusammensetzung. Es wurde eine neue Probegeometrie entwickelt zur Prüfung von Schneidsegmenten. Es wurde ein Probenhalter für die Aufnahme von Schneidsegmenten am Versuchstand konstruiert.
- AP2: Es wurde Schwerbetonproben und Stahlbetonproben angefertigt und in Erosionsversuche abgetragen. Die Zusammensetzung der Schneidstoffgehalte der MMC wurde variiert. Die Versuche zeigten den Zusammenhang von Werkzeugverschleiß, Werkstückabtrag zum Schneidpartikelanteil. Metallographische Untersuchungen des Verschleißbildes der MMC Probekörper begleiteten die Versuche.  
Für die weitere praktische Erprobung wurde eine Steintrennmaschine ausgewählt und angeschafft. Diese wird zurzeit umgebaut für Schneidversuche mit einem von der Fa. Büdiam Diamantwerkzeuge herzustellenden Sägeblatt. Für diese Versuche werden ebenfalls zurzeit Stahlbetonprobekörper angefertigt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP1:
- a.) Fertigstellung von Kreissägeblättern und Erprobung
  - b.) Qualifizierung und Verifizierung der bisherigen Messergebnisse mit dem konfokalen Mikroskop.
- AP2:
- a.) Inbetriebnahme des fertig gestellten Messstandes (Drehbankbasis) und Einregulierung
  - b.) Praxistest der Kreissägeblätter an verschiedenen Stahlbetonprobeaufbauten
  - c.) Analyse der Ergebnisse der Praxiserprobung, insbesondere Werkzeugverschleiß und Stahlbetonabtrag.

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

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> BÜDIAM Diamantwerkzeuge R. und N. Büttner GmbH, Industriestr. 5a, 35713 Eschenburg		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8447</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2007 bis 31.10.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 300.480,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Knotte	

### 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 (armerter 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:

Im zweiten Halbjahr 2009 wurde die Probenfertigung weiter den Erfordernissen des beim Projektpartner befindlichen Tribomesstandes angepasst. Dazu wurden spezielle Werkzeuge zum Kaltpressen neuer Matrix-Hartstoffkombinationen angeschafft und in Abstimmung mit dem Projektpartner IW Hannover Proben hergestellt. Hauptaugenmerk bei der Materialentwicklung lag dabei auf dem Einsatz von Wolframkarbiden mit unterschiedlichen Korngrößen. Dies machte jeweils eine Optimierung der Fertigungs- und Sinterroute mit dem Ziel möglichst dichter Proben und hoher Härte erforderlich. Durch Drucksintern konnten so Materialien mit einem Hartstoffanteil von 30 % nahe 100 % der theoretischen Dichte erzeugt werden. Durch Steigerung des Hartstoffanteiles auf 50 % waren Härten von 55 HRC möglich.

Proben mit den verschiedenen Hartstoffanteilen wurden für tribologische Versuche an den Projektpartner gesandt und auf ihre Eignung beim Trennen von Schwerbeton untersucht.

AP2:

Auf der Grundlage der bisherigen Untersuchungen wurden in Absprache mit dem Projektpartner begonnen Proben zu fertigen, die in ihren Abmessungen denen von Einzelschneidsegmenten entsprechen. Hierbei handelt es sich um Segmente zum Bestücken von Sägeblättern für den Probeinsatz in der Kreissäge. Hierfür wurden bereits entsprechende Werkzeuge angeschafft und erste Probenreihen gefertigt. Diese werden gegenwärtig am IW Hannover untersucht.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP1:

Im weiteren Projektverlauf sollen die gegenwärtig beim Projektpartner untersuchten Matrix-Hartstoffkombinationen weiter optimiert werden, bzw. ggf. weitere Materialkombinationen dem Projektpartner IW Hannover für die tribologischen Untersuchungen zur Verfügung gestellt werden.

AP2:

Auf der Grundlage der bisherigen und folgenden Verschleißuntersuchungen sollen weitere Einzelschneidsegmente gefertigt werden und auf ihr tribologisches Verhalten untersucht werden. Ziel der Materialoptimierung ist eine hohe Standzeit der Matrix-Hartstoffkombinationen bei gleichzeitig hohem Materialabtrag im Schwerbeton.

AP3:

Mit den erfolgversprechendsten Materialkombinationen sollen dann Schneidsegmente zum bestücken von Sägeblättern gefertigt werden. Die Sägewirkung dieser Blätter soll anschließend auf der vom Projektpartner angeschafften Blockstein-Tischsäge verifiziert werden.

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

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Ludwig-Maximilians-Universität München, Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8457</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Untersuchung von epigenetischen Effekten nach Bestrahlung menschlicher Zellen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2007 bis 31.12.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 325.105,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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: Nach Etablierung der Auswertemethodik (ICA-Methode) werden nun vorhandene Datensätze zu verschiedenen Histonmodifikationen nach C-Ionen-Bestrahlung ausgewertet. Weitere Daten mit einer gebräuchlichen Tumorzelllinie (U2OS) und einer Normalzelllinie (Telomerase-immortalisierte Fibroblasten wurden generiert und werden derzeit ausgewertet). Zusätzlich werden die Ergebnisse, die mit verschiedenen Mikroskopietechniken (Epifluoreszenz, Konfokal und Ultradünnschnitte) erzielt wurden, verglichen.
- AP2: Die Verwendung von Gesamtzellextrakten erwies sich für den Nachweis von verschiedenen Histonmodifikationen als geeignet. Die Bedingungen für verschiedene Antikörper konnte optimiert und eine Beladungskontrolle mit Tubulin-alpha standardisiert werden. Es wurden Gesamtzellextrakte von HeLa- und U2OS-Zellen hergestellt. Die Auswertung der Western Blots läuft derzeit. Für die meisten der bis dato getesteten Histonmodifikationen wurde keine signifikante Veränderung beobachtet.
- AP3: In HeLa und U2OS Zellen konnte für HP1 kurz nach Bestrahlung (5 min) mit C-Ionen eine Abnahme am geschädigten Chromatin und zu späteren Zeiten (15 min bis 2 h) eine Akkumulierung am Schadensort gezeigt werden. 30 min nach Bestrahlung mit C-Ionen wurde keine Akkumulierung von CAF-1 beobachtet, auch nicht nach erhöhter Dosis. Dies steht im Widerspruch zu Daten mit UV-Laserbestrahlung. Zu späteren Zeitpunkten nach Bestrahlung zeigt CAF-1 teilweise eine Überlappung mit den DNA-Schadensmarkern. TIP60 zeigte hingegen keine spezifische Anreicherung an den DNA-Schadensorten.
- AP4: HeLa- und U2OS-Zellen wurden unter den beiden chromatinmodifizierenden Medienbedingungen mit C-Ionen bestrahlt. Zusätzlich zu den humanen Zelllinien wurde eine Mauszelllinie untersucht, da dort stark kondensierte Chromatinbereiche (Heterochromatin – Chromozentren) leichter von den nicht-kondensierten Bereichen zu unterscheiden sind. Die Daten werden derzeit auf Veränderungen in der Focibildung in den verschiedenen Chromatinbereichen untersucht. Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit die artifiziellen Bedingungen sich auf die Zellviabilität auswirken. Im experimentellen Zeitraum (1 h Behandlung mit den unterschiedlichen Medien) war die Apoptoserate (Nachweis von cleaved-Caspase 3) nicht signifikant erhöht.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Die Auswertung der Mikroskopiedaten soll abgeschlossen werden.
- AP2: Die quantitative Westernanalyse der Modifikationen soll abgeschlossen werden.
- AP3: Durch siRNA-Technologie sollen die für die beobachteten Histonveränderungen verantwortlichen Faktoren weiter charakterisiert werden.
- AP4: Die Auswertung zur Focibildung nach artifizieller Chromatinkondensation sollen abgeschlossen werden.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Duisburg-Essen, Universitätsklinikum Essen, Hufelandstraße 55, 45147 Essen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8467</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Regulationsmechanismen eukaryotischer DNA Replikation nach Bestrahlung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2007 bis 30.09.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 445.852,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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 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  
 AP3.9: Charakterisierung der DNA-PK Autophosphorylierung  
 AP3.10: Kooperation von Ku und DNA-PKcs in DNA-PKcs Autophosphorylierung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

*Untersuchung von ATM-Defizienz sowie reduzierter ATR Aktivität auf die Inhibition der DNA-Replikation:*

Im Rahmen der Zielsetzung 2 erhielten wir weitere Erkenntnisse über die Beteiligung von ATM bei der strahlungsinduzierten Inhibition der DNA Replikation. Wir führten Experimente mit ATM defizienten Zellen (AT5BIVA) durch und beobachteten Effekte, welche denen ähnlich sind, die beobachtet wurden, als humane und CHO Zellen mit dem spezifischen ATM-Inhibitor KU55933 behandelt wurden (AP3.6). Sie bestätigen, dass ATM bei der persistierenden Checkpoint-Aktivierung eine untergeordnete Rolle spielt. Im Gegensatz dazu hat sich gezeigt, dass eine reduzierte ATR-Aktivität in F02-98 ATR Zellen zu einer rapiden Erholung der Replikationsinhibition führt. Ähnliche Ergebnisse wurden bereits im Rahmen des AP3.6 nach der Gabe von Coffein beobachtet, was die Bedeutung dieser Kinase bei der Checkpoint-Antwort untermauert. Die Inhibition von DNA-PKcs in diesen Zellen durch die Verwendung von NU7026 jedoch führte zu einer Zunahme der Replikationsinhibition und demnach zu einer Verstärkung der Checkpoint-Antwort. Die Inhibition von DNA-PKcs wurde durch zwei unterschiedliche Konzentrationen erreicht (20 µM und 40 µM). Dabei war eine Konzentrationsabhängigkeit des Inhibitors nicht festzustellen. Diese Ergebnisse bekräftigen eine spezifische molekulare Wech-



selwirkung zwischen ATR und DNA-PKcs, da die Checkpoint-Antwort nach Inhibition von DNA-PKcs und damit die Inhibition der DNA-Replikation sofort wieder ansteigt. Auf Basis dieser Resultate vermuten wir eine spezifische molekulare Wechselwirkung zwischen ATR und DNA-PKcs, möglicherweise unter Einbeziehung spezifischer Autophosphorylierungsstellen, welche ausbleibt, wenn die Kinaseaktivität, inhibiert durch NU7026, blockiert wird. Im Gegensatz zu den sonst beschriebenen Kinetiken zeigte die Kinetik von F02-98 ATR Zellen, die sowohl mit dem DNA-PKcs-Inhibitor als auch mit dem ATM-Inhibitor behandelt wurden, maximale Inhibition der DNA-Replikation bereits nach 30 Minuten. Die Replikationsinhibition war sehr schwach und die Erholung erfolgte schneller als bei denselben Zellen ohne gemeinsame Zugabe der beiden Inhibitoren. Jedoch könnte dieses Experiment den geringen Beitrag, den ATM bei der Inhibition der DNA-Replikation und deren Erholung leistet, sichtbar machen. Dies ist insbesondere an der verkürzten Dauer der Inhibition der DNA-Replikation sowie an der schnelleren Erholung erkennbar.

*Detektion von einzelsträngigen DNA-Bereichen in DNA-PKcs defizienten Zellen:*

Die oben beschriebene ATR Aktivierung hat sofort die Frage nach den Hintergründen gestellt, der wir experimentell nachgegangen sind. In gezielt zu diesem Zweck geplanten Untersuchungen nach Bestrahlung konnten wir in DNA-PKcs defizienten Zellen ausgedehnte einzelsträngige Bereiche detektieren, die in den entsprechenden Wildtyp-Zellen nach Strahlungseinwirkung nur selten und in gemäßigter Zahl vorhanden waren. Diese Resultate betreffen DNA-PKcs defiziente M059J und HCT116 Zellen. Wir vermuten daher, dass die An- bzw. Abwesenheit von DNA-PKcs einen erheblichen Beitrag zu diesem Effekt leistet. Da DNA Doppelstrangbrüche in DNA-PKcs defizienten Zellen nicht mehr durch NHEJ repariert werden können, wäre alternativ die Reparatur durch Homologe Rekombination denkbar. Einer der Initiationsschritte dieses Reparaturweges betrifft die Modifizierung der Bruchenden, unter anderem durch Nukleasen, wodurch einzelsträngige DNA Enden entstehen. Unsere Vermutung ist daher, dass die von uns detektierten einzelsträngigen Bereiche solche DNA Enden darstellen. Darüber hinaus würden solche einzelsträngigen DNA-Bereiche auch die von uns mutmaßlich vermutete Überaktivierung von ATR erklären.

*Untersuchung von CtIP auf die Inhibition der DNA-Replikation nach Bestrahlung:*

Die oben beschriebene Formierung von einzelsträngigen DNA Bereichen haben wir dann experimentell weiter verfolgt. CtIP ist eine Nuklease (siehe oben), die essentiell an der Modifikation der Bruchenden nach der Entstehung von DNA Doppelstrangbrüchen beteiligt ist. Basierend auf unseren oben erwähnten Vermutungen sollte eine Abreicherung von CtIP in DNA-PKcs defizienten Zellen eine Erholung der persistierenden Replikation gestatten. Durch einen Knockdown von CtIP sollte demnach die extensive Bildung von einzelsträngigen Bereichen zurückgehen und damit auch das Aktivierungssignal für ATR.

Nach einem knockdown von CtIP durch Transfektion mit CtIP-siRNA konnte in DNA-PKcs defizienten M059J und HCT116 Zellen eine starke Abnahme von einzelsträngigen DNA-Bereichen nachgewiesen werden. Darüber hinaus wurde durch diese Experimente eine partielle Erholung der Replikationsinhibition in transient transfizierten M059J Zellen festgestellt, während in stabil transfizierten HCT116 Zellen dieser Effekt wesentlich deutlicher zu beobachten war. Wir schließen aus diesen Ergebnissen, dass die Anwesenheit von einzelsträngigen DNA-Bereichen, initiiert durch die Aktivierung von homologer Rekombinationsreparatur in NHEJ defizienten Zellen, mit eine Ursache für die andauernde ATR-Aktivierung und persistente Checkpoint-Aktivierung ist.

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

Der Cross-Talk zwischen ATR und DNA-PKcs den unsere Ergebnisse eindeutig zeigen, ist weiterhin von großer Bedeutung und muss in den Vordergrund gestellt werden. Dafür müssen wir mit den in vitro Experimenten, die die Phosphorylierung von TAg untersuchen sollten, vorläufig in den Hintergrund rücken.

#### **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, Vol. 521: 329-342, 2009.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 S 8477</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Regulation der Nicht-homologen Endverknüpfung durch post-translationelle Modifikationen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2007 bis 30.09.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 799.901,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

AP2: Kartierung der veränderten Stellen

AP3: Bestimmung der modifizierenden Enzyme

AP4: Auswirkungen der Veränderungen auf Protein-Protein Wechselwirkungen

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

Im vergangenen Berichtszeitraum haben wir die Ubiquitinierung von Ku80 weiter untersucht. Hierzu haben wir festgestellt, dass die Ubiquitinierung keinesfalls für den Abbau des Ku80 Proteins benötigt wird, eine der häufigsten Funktionen einer Ubiquitinierung. Ferner konnten wir nachweisen, dass es sich bei der Ubiquitinierung keinesfalls um eine Multimonoubiquitinierung handelt, sondern tatsächlich eine Polyubiquitinierung darstellt, d. h. das Protein wird an einem Lysin mit einer Kette aus mehreren aneinandergereihten Ubiquitinproteinen modifiziert und nicht an mehreren Lysinen mit einem singulären Ubiquitin. Außerdem haben wir Deletionsmutanten von Ku80 hergestellt, diese auch in Zellen exprimiert und sequenziert.

Nach dem die Argininmutanten noch immer ubiquitiniert werden konnten, haben wir von XLF Deletionsmutanten hergestellt, um die Ubiquitinierungsstelle einzugrenzen. Außerdem haben wir untersucht, ob XLF mit dem RNF168 Protein assoziiert, eines Proteins das relativ früh nach einem Doppelstrangbruch zur Schadensstelle rekrutiert wird. Da es sich bei RNF168 um ein Protein handelt, das ubiquitinierte Proteine bindet, haben wir zusätzlich untersucht, ob diese Assoziation von der Ubiquitinierung abhängt. Dabei haben wir festgestellt, dass XLF mit dem RNF168 Protein eine enge Bindung eingeht. Eine Abhängigkeit von der XLF-Ubiquitinierung oder eines Doppelstrangbruchs konnten wir bisher noch nicht feststellen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Wir werden die Deletionsmutanten von Ku80 auf eine Ubiquitinierung untersuchen. Eventuell werden wir weitere Deletionsmutanten anfertigen müssen. Ansonsten werden wir das infrage kommende Lysin durch ein Arginin ersetzen, um so eine ubiquitinierungsresistente Ku80 Mutante zu schaffen. Mit dieser ubiquitinierungsresistenten Mutante werden wir dann die Auswirkungen der Ubiquitinierung von Ku80 auf die Doppelstrangbruchreparatur untersuchen. Wir werden ferner die Aktivität von BRCA als Ubiquitinligase in Abhängigkeit von seiner Phosphorylierung analysieren.

Daneben werden wir die Analyse der XLF-Modifikation fortsetzen. Wir werden weiterhin versuchen die Ubiquitinierung von XLF zu kartieren und ihre Bedeutung für die Lokalisierung des XLF-Proteins an der Schadensstelle sowie für die Reparatur von Doppelstrangbrüchen nachweisen. Wir werden ferner untersuchen wie das XLF Protein an die Schadensstelle gelangt. Da der wahrscheinlichste Weg ist, dass XLF zusammen mit RNF168 zur Schadensstelle gelangt werden wir zunächst seinen Bindungspartner, das RNF168 Protein ausschalten.

Außerdem werden wir die Daten über das XLF Protein für eine Veröffentlichung zusammenfassen.

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

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8487</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Konstruktion, Herstellung, Beschichtung, Prüfung und Handhabung langzeitstabiler Gebinde zur sicheren Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2007 bis 30.09.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 931.686,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

Die Parameterstudien zur Etablierung der innovativen Schweißprozesse ColdArc® und ForceArc® wurden fortgesetzt und auf die Verschweißung unterschiedlich vorbehandelter - insbesondere sandgestrahlter - Bleche ausgeweitet. Die durch Sandstrahlen mit qualitativ und

quantitativ unterschiedlich zusammengesetzten Strahlmitteln eingestellte Oberflächenrautiefe wurde mittels konfokaler Lasermikroskopie analysiert und durch Ermittlung der Rauheitskennwerte charakterisiert. Dabei konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Rautiefe und Oberflächenbehandlung detektiert werden.

Die Evaluierung des Langzeitverhaltens des Probenmaterials bzw. der Bauteilkomponenten erfolgte durch Belastung in Klima- und Korrosionsprüfungen sowie durch Ermittlung werkstoffkundlicher Kennwerte und metallografische Analyse.

In Zusammenarbeit mit dem Eisenwerk Bassum m.b.H. wurden Versuche zur Übertragbarkeit der unter Laborbedingungen erzielten Ergebnisse - u. a. Vorbehandlung der Werkstoffe, Transfer der Schweißparameter, Applikation der Korrosionsschutzsysteme - in die betriebliche Praxis durchgeführt. Gemeinsam mit dem Kooperationspartner Suding & Soeken GmbH & Co. KG wurde eine Sichtung potenzieller Korrosionsschutzsysteme auf Wasserbasis vorgenommen. Im Gegensatz zu den etablierten lösemittelhaltigen Systemen, die durch definierte Wärmezufuhr auf das metallische Substrat aufgebracht werden, benötigen die wasserbasierten Systeme eine hiervon abweichende eigene Verfahrenstechnik. Hierzu wurden erste Laborversuche durchgeführt.

Der Licht-Klimaprüfschrank (Prüfraumvolumen: 2000 mm x 1500 mm x 1150 mm) wurde in Betrieb genommen. Anhand von großvolumigen Proben wurden erste Referenzprüfungen gestartet.

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

Die Untersuchungen zur Einstellung von Rauheitswerten der metallischen Substrate durch gezielte Oberflächenvorbehandlung werden fortgeführt und statistisch abgesichert.

Anhand der durchgeführten Schweißparameterstudien soll eine Empfehlung verschiedener Parameterkombinationen (Schweißverfahren, -parameter, -drähte, -zusatzwerkstoffe, ...) zur erfolgreichen Verschweißung einzelner Komponenten erarbeitet werden, anhand derer die Verschweißung von verschiedenen und gleichen Blechstärken mit den jeweiligen Verfahren (ForceArc® und ColdArc®) qualitativ hochwertig hergestellt werden können. Hier müssen zudem weitere Versuche zum Transfer in die betriebliche Praxis erfolgen.

Unter Berücksichtigung relevanter Anforderungen wie Haftfestigkeit oder Dekontaminierbarkeit werden neben lösungsmittelhaltigen Beschichtungssystemen auch geeignet erscheinende wasserbasierte Systeme in Salzsprühnebeltests, Klimaprüfungen, elektrochemischen Verfahren und mechanischer Prüfung für die Anwendbarkeit als langzeitstabiler Korrosionsschutz in der Praxis untersucht, mit den an etablierten lösemittelhaltigen Systemen gewonnenen Ergebnissen abgeglichen und bewertet. Dabei kommt in der letzten Phase auch der beschaffte Licht-Klimaprüfschrank zur Bewertung ganzer 200-l-Behälter zum Einsatz, in dem ein Demonstratorbehälter im Ganzen getestet und die Beschichtung auf ihre Korrosionsbeständigkeit hin untersucht werden soll. Die Auswertung der einzelnen Licht-Klimaprüfungen erfolgt im mikroskopischen Bereich durch metallographische Analytik, die Ergebnisse werden mit den Erkenntnissen aus der mechanischen und korrosiven Prüfung verglichen.

Die im bisherigen Verlauf des Vorhabens erzielten Ergebnisse werden mit den Projektpartnern evaluiert und unter Berücksichtigung einer angestrebten Langzeitstabilität in Empfehlungen für eine korrosionsschutzgerechte Konstruktion und Fertigung von 200-l-Gebinden überführt.

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

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 S 8497</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Induktion und Transmission von genetischen Schäden nach Hoch-LET Bestrahlung: In vivo und in vitro Untersuchungen		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen - <i>Strahlenforschung</i>		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2007 bis 31.01.2011	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 972.499,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Ritter	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das primäre Ziel unseres interdisziplinären Forschungsvorhabens ist es, zu einer realistischen Bewertung des genetischen Risikos dicht ionisierender Strahlung beizutragen. Im Forschungsvorhaben werden insbesondere strukturelle Chromosomenaberrationen, die ein Charakteristikum von Krebszellen sind, mit modernsten molekular-zytogenetischen Methoden analysiert. Weiterhin wird untersucht, 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. Neben der Bearbeitung dieser wissenschaftlichen Fragestellungen hat das Projekt das Ziel, zum Kompetenzerhalt in der Strahlenforschung 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: Es wurden Chromosomenschäden in Lymphozyten in der ersten Mitose nach Bestrahlung mit 1 GeV/u Eisenionen gemessen. Die für niederenergetische Kohlenstoffionen erhalten Ergebnisse wurden zusammengefasst und zur Publikation eingereicht (Lee et al.). Außerdem wurden weitere Röntgenexperimente zur Strahlenreaktion von hämatopoetischen Stamm- und Progenitorzellen (HSPC) durchgeführt und mit der Auswertung begonnen.
- AP2: In einem Mikrostrahlexperiment mit Kohlenstoffionen (4.8 MeV/u) wurde die Induktion von genetischen Schäden in AG1522 Zellen gemessen. Um zu klären, ob die Akkumulation von reaktiven Sauerstoff-Spezies (ROS) mit verfrühter Seneszenz, Apoptose und genetischer Instabilität in Beziehung steht, wurde eine durchflusszytometrische Methode etabliert, die eine gleichzeitige Messung von ROS und dem Zellzyklusstadium oder der Apoptose erlaubt. Erste Versuche zur Hemmung der ROS-Akkumulation wurden durchgeführt.
- AP3: Zur Analyse von altersbedingten bzw. strahleninduzierten Veränderungen des mitochondrialen Proteoms wurden solubilisierte mitochondriale Proteine von NHDF, WI38 und AG1522D Fibroblasten gelelektrophoretisch über eine zweidimensionale blau-native (BN)/SDS-PAGE aufgetrennt und zunächst in der ersten Dimension quantifiziert. Die Experimente zeigen, dass in unbestrahlten Zellen die Menge der

ATP Synthase mit fortschreitendem Zellalter abnimmt, während die Menge in bestrahlten Zellen über den ganzen untersuchten Zeitraum (ca. 230 Tage) konstant bleibt.

- AP4: Die Charakterisierung von Fibroblasten, die die katalytische Telomeraseuntereinheit ektopisch exprimieren (VH7 wt und hTERT) wurde fortgesetzt. Es wurden vier Röntgenexperimente durchgeführt, die zeigen, dass das klonogene Überleben durch enzymatisch aktive Telomerase nicht verändert wird. Präparate zur Bestimmung von Zellzyklusarrest, Apoptose, Telomerlängen und ROS-Akkumulation wurden ebenfalls hergestellt. Außerdem wurde mit zwei Langzeitexperimenten (Röntgenstrahlung bzw. niederenergetische Kohlenstoffionen) begonnen. Beide Langzeitexperimente mussten jedoch wegen einer Mykoplasmeninfektion abgebrochen werden.
- AP5: Im 2. Halbjahr 2009 wurden weitere Blutproben von Prostatakarzinompatienten ein Jahr nach Therapieende gewonnen und analysiert sowie weitere Versuche zur Strahlensensibilisierung von Prostatakarzinomzelllinien (PC-3 und DU-145) durch eine Vorbehandlung mit Natrium-Selenit durchgeführt.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Um weitergehende Aussagen über den Einfluss der Bahnspur auf die Anzahl und Art von Chromosenschäden in humanen Lymphozyten treffen zu können, soll die Wirkung von 5 MeV/u Chromionen untersucht werden. Eine weitere Publikation soll vorbereitet werden. Die Analyse der Chromosomenpräparate von HSPC wird fortgesetzt.
- AP2: Die Analyse der Chromosomenpräparate, die im Rahmen des letzten Mikrostrahlxperiments angefertigt wurden, wird fortgesetzt. Um die Gründe für den beobachteten Unterschied zwischen den RBW Werten für früh bzw. spät auftretende chromosomale Veränderungen nach Bestrahlung genauer zu untersuchen, wurden im Rahmen dieses Versuchs auch Proben zur Messung von Apoptose und der Expression von Genen, die eine frühzeitige Seneszenz nach Bestrahlung einleiten, erzeugt. Diese sollen mit Immunfluoreszenz ausgewertet werden. Bei der durchflusszytometrischen Messung von Einzelzellen soll geklärt werden, ob es einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von verfrühter Seneszenz, Apoptose und genetischer Instabilität gibt.
- AP3: Fibroblasten sollen mit Röntgenstrahlen bzw. schweren Ionen bestrahlt werden und die ATP-Konzentration bis 60 Tage nach der Exposition gemessen werden. Weiterhin wird die Menge an Superoxiddismutase, HSP27, HSP60, Katalase, Cytochrom c und Prohibitin in Langzeitkulturen bestimmt.
- AP4: Das Röntgenlangzeitexperiment mit Fibroblasten, die hTERT überexprimieren (VH7 wt und hTERT), wird wiederholt. Ebenso soll, sobald eine entsprechende Strahlzeit angeboten wird, erneut ein Langzeitexperiment nach Schwerionenbestrahlung durchgeführt werden. Die Auswertung der im ersten Halbjahr angefertigten Proben zur Charakterisierung von wt und hTERT VH7-Zellen (Zellzyklusinhibierung, Apoptoserate, Telomerlängenbestimmung und ROS-Akkumulation) wird fortgesetzt.
- AP5: Es ist geplant, einige Proben von Prostatakarzinompatienten mit der mBAND Methode auszuwerten, um die Häufigkeit von intra-chromosomalen Schäden zu bestimmen. Weiterhin sollen das Zellüberleben und die Apoptoserate in normalen Prostataepithelzellen nach Bestrahlung mit Röntgenstrahlen bzw. Kohlenstoffionen gemessen werden und mit den Werten für Prostatakarzinomzellen verglichen werden.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- Becker, D. et al.: Response of human hematopoietic stem and progenitor cells to energetic carbon ions. *Int. J. Radiat. Biol.* 85: 1051 (2009).
- Castiglia, V.: Heavy ion therapy. Cytogenetic analysis of lymphocytes of prostate cancer patients. Report. GSI Summer Student Program 2009, p. 39.
- Deperas-Standylo, J. et al.: Time-course of chromosome aberrations and their distribution: Impact of LET and track structure. *EPJ* (submitted).
- Hartel, C. et al.: Chromosomal aberrations in peripheral blood lymphocytes of prostate cancer patients treated with IMRT and carbon ions. *Radiother. Oncol.* (in press).
- Hille, A. et al.: Spontaneous and radiation-induced chromosomal instability and persistence of chromosome aberrations after radiotherapy in lymphocytes from prostate cancer patients. *Radiat. Environ. Biophys.* (in press).
- Lee et al., Complex exchanges are responsible for the increased effectiveness of C-ions compared to X-rays at the first post-irradiation mitosis. *Mutat. Res.* (submitted).
- Ochab-Marcinek, A. et al.: Modelling radiation-induced cell cycle delays. *Radiat. Environ. Biophys.* 48: 361 (2009).
- Pignalosa, D et al.: Inversions in chromosome 10 of human thyroid cells induced by heavy ions. *Radiat. Res.* (in press).
- Zahnreich et al.: Radiation-induced premature senescence is associated to specific cytogenetic changes. *Mutat. Res.* (submitted).

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstraße 21, 80333 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8507</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verfahren zur selektiven Tritium-Extraktion aus wässrigen Abfalllösungen und langzeitstabilen Bindung auf einem Träger		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2007 bis 30.09.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 583.747,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Jurkin	

## 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

Die Zweckmäßigkeit einer experimentellen Abfolge von Elektrolyseversuchen mit sowohl der konventionellen Versuchsanordnung als auch eines Setups mit umgekehrten Tritium-Aktivitätsverhältnissen zwischen Elektrolyt- und Feedlösung zur Präzisierung und Gegenkontrolle der elektrodenmaterialspezifischen Tritium-Separationsfaktoren ( $\beta$ ) wurde bereits mit Hilfe eines pentabipolaren Systems (Pt/Pt) veranschaulicht und resultierte in guter gegenseitiger Übereinstimmung der Separationsfaktoren ( $\Delta\beta \approx 0,5$ ). Die Reproduzierbarkeit dieser Versuche wurde anhand eines Aufbaus mit acht aktiven Kompartimenten (Pt/Pt) geprüft (Update AP 7). Die ermittelten  $\beta$  sind mit Literaturdaten und wiederum von einer sehr guten gegenseitigen Übereinstimmung ( $\Delta\beta \approx 0,3$ ) geprägt. Der beschriebene experimentelle Ansatz ist somit insbesondere bei der Ermittlung hoher  $\beta$  im Continuous-Feed Betrieb von Nutzen, da bereits bei verhältnismäßig geringer Elektrolysedauer reproduzierbare Tritium-Separationsfaktoren errechnet werden können (AP2). In einem weiteren Elektrolyseversuch (Pt/Pt oktabipolar) wurde das Tritium-Rückhaltevermögen des Kobaltsalzes  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  durch dessen Verwendung als Elektrolytzusatz geprüft. Um Abscheidungen der Hydroxide  $\text{Co}(\text{OH})_3/\text{CoO}(\text{OH})$  zu vermeiden, wurden Elektrolysen mit und ohne  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Zusatz bei pH 7 (NaCl-Elektrolyt) durchgeführt. Eine Erhöhung des Tritium-Rückhaltevermögens konnte hierbei nicht festgestellt werden. Es ist durchaus vorstellbar, dass solvatisierte Ionen im Vergleich zur kristallinen Form entweder ein gänzlich unterschiedliches Rückhaltevermögen aufweisen oder dass die durch den Elektrolytzusatz hervorgerufene Verminderung der Ionenleitfähigkeit einen Akkumulationseffekt neutralisiert. Für eine praxisgerechte Anwendung von Elektrolytzusätzen sind demnach vorwiegend Verbindungen in Betracht zu ziehen, die optimalerweise in 1 N NaOH-Lösung (pH 14) als Feststoff oder Gel in den Elektrolysezellen verbleiben und den Elektrolyseverlauf nicht durch Sekundärreaktionen (z. B. Metallionenreduktion) beeinträchtigen (AP4, AP6). Aktuelle Experimente legen das Augenmerk auf die Bestimmung von Tritium-Separationsfaktoren bisher nicht erprobter Elektrodenkombinationen. So wurde mit Hilfe eines oktabipolaren Elektrolyseaufbaus die Kombination von Platinanoden mit Vanadiumkathoden untersucht und ein elektrodenmaterialspezifischer Separationsfaktor von  $\beta = 16 \pm 1$  ermittelt. (AP2).

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Eine weitere bisher nicht charakterisierte Elektrodenkombination stellt das System Pt-Anode/W-Kathode dar. Die diesbezügliche  $\beta$ -Bestimmung wird derzeit durchgeführt. Zusätzlich ist ein oktabipolarer Versuchsaufbau mit dem System Pt-Anode/Ag-Kathode in Vorbereitung (AP2). Im Hinblick auf Elektrolytzusätze zur Zusammenführung der aktiven und passiven Tritiumanreicherung ist die Anwendbarkeit organischer Verbindungen zu prüfen (AP5/6). Polysaccharide wie beispielsweise Gelatin oder Agartine erfüllen die oben genannten Kriterien und weisen auf ein hohes Tritium-Rückhaltevermögen hin (Anreicherungsfaktoren  $\alpha$  von bis zu 6,2). Ein Verbleib der Suspension im Elektrolysezellraum setzt jedoch Modifikationen an der Apparatur (z. B. Filtersysteme) voraus, welche es zu erörtern und gegebenenfalls zu implementieren gilt.

Abschließend gilt es, die Reproduzierbarkeit vor allem jener Versuche mit Elektrodenkombinationen mit hohen Separationsfaktoren (z. B. Fe/Pt, Ni/Pt) zu prüfen. Die Dokumentation der Experimente erfolgt laufend und wird im Rahmen eines Abschlussberichts zusammengefasst (AP8).

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8517</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Uraufnahme		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2007 bis 30.09.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 253.992,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Kothe	

### 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Vorhaben dient der Identifizierung von Transportproteinen zur Uraufnahme in lebende Zellen. Dabei werden einerseits Bakterien untersucht, die eine hohe Mutationsrate und metabolische Diversität besitzen und für die Uraufnahme in die Zelle nachgewiesen ist. Isolierte Gene könnte 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

Proteomanalysen und Transkriptomanalysen von *Schizophyllum commune* bei Wachstum auf Uran-haltigen Medien wurden kombiniert mit Messungen der Anreicherung während des Wachstums. Die ersten Auswertungen der Mikroarrays ergeben eine hohe Anzahl unterschiedlich regulierter Gene, deren Funktion experimentell überprüft wird. Dazu werden wir gezielt mutagenisierte Stämme erzeugen und deren Verhalten dann mit dem Wildtyp vergleichen. Dazu ist es wichtig, ein homologes Rekombinationssystem im Pilz zu nutzen und heterologe Rekombination auszuschalten. Wir sind dabei einen solchen Stamm zu erzeugen, der zukünftige Mutagenese stark erleichtert (Ausschalten des Gens Ku70). Diese Arbeiten sind weiter vorangeschritten, aber noch nicht vollständig beendet.

Für *Arthrobacter* wurde die Zellsorption der angebotenen U(VI) Spezies sowie die Unterschiede zwischen den U(VI) Spezies in den mineralischen Ausgangsmitteln weiter bearbeitet. Entsprechend der ermittelten spektroskopischen Daten war eine Bindung des Urans an Car-

boxylgruppen enthaltene Zellkomponenten sehr wahrscheinlich, wobei aber auch eine Koordination zu organischen Phosphatgruppen nicht ausgeschlossen werden kann.

Pilze mit extrem hohen Anreicherungen für Uran vom Standort wurden weiter untersucht. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass aus Pilzen sowie Gram-positiven und Gram-negativen Bakterien vom Standort lediglich 2 Isolate auf 50 µM Uranylacetat wachsen konnten. Diese beiden zeigten in der Laserablations-ICP-MS eine deutlich signifikante Urananreicherung im Bereich des Wachstums. Bei einem Isolat handelte es sich um *Cordyceps sinensis*, einen Pilze, während das andere Isolat ein Gram-positives Bakterium, *Micrococcus luteus*, war.

Daneben wurden *Streptomyces*-Stämme auf ihre Resistenz gegenüber Uran getestet. Hier scheint sich ein anderer Mechanismus als bei *Arthrobacter* herauszustellen.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Der Meilenstein 5 wird bis September 2010 angestrebt.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Dimkpa, C, Gherghel F, Haferburg, G, Reinicke M, Schindler F, Schlunk, I, Schmidt, A, Schmidt, A, Schütze E, Zeggel L, Merten D, Büchel G, Kothe E. 2009. The effect of acid mine drainage on soil microbiology. Jabalpur Reviews, Behl RK (ed).

Sineriz ML, Kothe E, Abate CM. 2009. Cadmium biosorption by *Streptomyces* sp. F4 isolated from former uranium mine. J. Basic Microbiol. 49 Suppl 1, S55-62.

Kothe E, 2009. Soils. In: Encyclopedia of Geobiology (Reitner J, Thiel V, eds.). Springer Verlag, Heidelberg. In press.

Kothe E, 2009. Microbial degradation. In: Encyclopedia of Geobiology (Reitner J, Thiel V, eds.). Springer Verlag, Heidelberg. In press.

Dimkpa CO, Merten D, Svatoš A, Büchel G, Kothe E (2009) Siderophores mediate reduced and increased uptake of cadmium by *Streptomyces tendae* F4 and sunflower (*Helianthus annuus*), respectively J. Appl. Microbiol., 107, 1687-1696

Tchize Ndejuong BLS, Sattler I, Dahse H-M, Kothe E, Hertweck C (2009) Isoflavones with unusually modified B-rings and their evaluation as antoproliferative agents. Bioorg. Medicinal Chem. Lett. 19, 6473-6476.

Cristobal HA, Schmidt A, Kothe E, Breccia J, Abate CM. 2009. Characterization of inducible cold-active  $\beta$ -glucosidases from the psychrotolerant bacterium *Shewanella* sp. G5 isolated from a sub-Antarctic ecosystem. Enz. Microb. Technol. 45, 498-506.

Schmidt A, Gube M, Schmidt A, Kothe E. 2009. In silico analysis of nickel containing superoxide dismutase evolution and regulation. J Basic Microbiol. 49, 109-118.

Kothe E, Dimkpa C, Haferburg G, Schmidt A, Schmidt A, Schütze E. 2010. Streptomyce heavy metal resistance: Extracellular and intracellular mechanisms. In: Soil heavy metals (Sherameti I, Varma A, eds.). Springer, Heidelberg, pp 225-235.

Gherghel F, Iordache VA, Krause K, Kothe E. 2010. Ectomycorrhizal diversity in young *Quercus robur* forests on soils of different heavy metal content. Appl. Env. Microbiol., eingereicht.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8528</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließende Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHYTOREST)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.03.2008 bis 28.02.2011	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 353.152,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

#### *Laborversuche*

Auf Grundlage zuvor durchgeführter Gefäßversuche mit unterschiedlichen Bodenbehandlungen wurde ein Gefäßversuch mit Sonnenblumen und verschiedenen Düngerarten ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$  + Nitrifikationshemmer (NH), Kalkammonsalpeter + NH,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , Harnstoff + NH,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  + NH und Zitronensäure) angesetzt, um Effekte auf die Schwermetall(im)mobilität im Substrat zu untersuchen. Des Weiteren wurde geprüft, inwieweit sich eine Keimbehandlung vor der Aussaat mit 2-Aminoethanol, Benzylaminopurin und Mycorrhiza auf die Radionuklid-/Schwermetallaufnahme (R/SM) in die Pflanze auswirkt. Die anschließende analytische Aufbereitung der Pflanzenkompartimente sowie die Bestimmung der mobilen Elementgehalte (sequentielle Extraktion) vor und nach dem Versuch lieferten Ergebnisse zum Extraktionspotential an R/SM. Neben der Ermittlung der Lebenszellzahlen (cfu) in allen Bodenvarianten wurden Fluoreszenzmessungen zur Abschätzung der Stresstoleranz durchgeführt.

#### *Testfeld Gessenwiese*

Die Ernte von *Triticale*, *Sonnenblume* und *Indischer Senf* auf den Versuchspartellen und den Lysimetern erfolgte nach ca. 100-tägiger Vegetationszeit im Juli 2009. Für die unterschiedlichen Bodenbehandlungsstrategien wurden die Biomassen (Frischgewicht, Trockengewicht) der einzelnen Pflanzenkompartimente (Frucht, Spross, Wurzel) ermittelt und daraus der agrartechnische Ertrag [t/ha/Ernte] bestimmt. Nach der analytischen Aufbereitung des Pflanzenmaterials (Mikrowellenaufschluss) wurde das Extraktionspotential der Genotypen aus den Pflanzenkonzentrationen und dem Ertrag bestimmt [g(kg)/ha/a]. Die berechneten Biokonzentrationsfaktoren (BCF) sowie die Translokationsfaktoren (TF) wurden mit Literaturdaten verglichen. Die nach der Ernte erfolgten Bodenuntersuchungen (pH, sequentielle Extraktion) lieferten Aussagen zu Mobilitäts- und Massenänderungen der R/SM im Substrat. Aus der Kombination der analytischen Ergebnisse der Pflanzenaufschlüsse, der R/SM-Gehalte im Boden und Wasserphase wurden R/SM-Stoffflüsse und Frachten im System Pflanze-Boden-Wasser berechnet ( $\text{mg}/\text{m}^2$ , kg/ha, g(kg)/l/ha). Die hydrochemischen Stichtagsbeprobungen wurden für Grundwasser, Sickerwasser und Bodenwasser im Juli, September und Dezember 2009 durchgeführt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### *Laborversuche*

Nach den Untersuchungen von Extraktionsvarianten stellen weitere Topfversuche die Stabilisierung der R/SM im Substrat, durch die Verwendung von Exkluderpflanzen (Gräser), in den Fokus der Untersuchungen. Dabei wird u. a. der Einfluss von biochemischen Additiven (Aminen) und Düngerstrategien auf die Immobilisierung der R/SM betrachtet.

#### *Testfeld Gessenwiese*

Um das Pflanzenwachstum und die R/SM-Aufnahme zeitlich besser auflösen zu können, werden Pflanzen verschiedener Wachstumsstadien geerntet, vermessen und chemisch charakterisiert. Hinsichtlich der hydrochemischen Stichtagsbeprobung wird das Messintervall verdichtet.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Mirgorodsky, D., Ollivier, D., Merten, D. & G. Büchel (2009): Phytoremediation for soils contaminated with radionuclides and heavy metals. 8<sup>th</sup> Symposium on remediation in Sanierungskolloquium: Geo-bio processes at geochemical barriers”, Jena, 28-29 Sept 2009.

Ollivier, D., Mirgorodsky, D., Bergmann, H., Merten, D. & G. Büchel (2009): Phytoremediation studies at the lab scale. “Modelling of plant uptake and application in environmental science and engineering”, Workshop DUT, Lyngby.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8538</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließender Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHYTOREST)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2008 bis 30.04.2011	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 461.386,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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: Durchführung von Grundlagenversuchen zur Vergärung
- AP5: Orientierende Versuche zur Entfrachtung des Pflanzenmaterials im Reaktormaßstab
- AP6: Optimierung der Reaktorversuche zur Entfrachtung
- AP7: 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

#### *Ernte von Pflanzenmaterial vom Testfeld Gessenwiese*

Gemeinsam mit den Projektpartnern von der Universität Jena Ernte der Pflanzen vom Testfeld Gessenwiese (2 Erntetermine: Juli 2009 und September 2009). Dabei wurde folgendes Pflanzenmaterial für den Projektteil Pirna geerntet: ca. 3 kg Brassica juncea (Rohmasse RM), das entspricht ca. 1.2 kg TM; 28.8 kg Triticale (RM + Boden), entspr. 7.15 kg TM; 4.7 kg Helianthus annuus jung (RM + Boden), entspr. ca. 0.7 kg TM; u. ca. 50 kg Helianthus annuus gereift (RM + Boden), entspr. ca. 9.65 kg TM.

*Analytik der Metalle in den Stoffströmen aus den Entfrachtungs- und Verwertungsversuchen (API+2)*

- Das Pflanzenmaterial vom Testfeld wurde in Pirna sortiert, gewaschen und entsprechend den verschiedenen Verwendungszwecken aufbereitet, und im Anschluss daran an die einzelnen Arbeitsgruppen aufgeteilt (Arbeiten bis November 2009)
- Analytik des beladenen Pflanzenmaterials
- Wiederholung der Analytik zu den Entfrachtungsversuchen 2009
- Durchführung von Versuchen zur Ermittlung der Bindung der SMR an das beladene Pflanzenmaterial Ernte 2009

*Keim- und Pflanzenversuche in SMR-dotierten Böden bzw. in Testfeldböden*

- Beendigung der Topfversuche mit *Solanum tuberosum* (Beginn 1. Halbjahr 2009)
- Durchführung von Topfversuchen mit *Beta vulgaris* in Testfeldsubstrat mit verschiedenen Zuschlagsstoffen (TF-Boden, pH 4.81; TF-Mix + Gartenboden, pH 6.6, TF + Gartenboden + Kalk, pH 6.3; normaler Boden, pH 6.8 (Kontrolle)). Dabei wurde folgende Massenzunahme der Rüben gemessen: (a) keine Zunahme (b) 11.3 %, (c) 9.9 % und (d) 35 %. Durch die Mehrfachbelastung des Testfeldbodens ist nur ein vermindertes Pflanzenwachstum möglich. Grundsätzlich ist jedoch auch *Beta vulgaris* zum Wachstum auf dem Testfeld geeignet
- Weitere Versuche wurden mit *Helianthus tuberosus* in SMR-dotierten Böden in Topfversuchen durchgeführt. Auch hier ist ein vermindertes Wachstum in Abhängigkeit von der SMR-Konzentration zu verzeichnen

*Durchführung von Versuchen zur alkoholischen Gärung von SMR-belasteten Pflanzen*

- Vergärung von SMR-belastetem Triticale vom Testfeld Gessenwiese (Ernte Juli 2009). Die Ethanolausbeute liegt mit 40.5 l/dt (TF) und 41.4 l/dt (Monokultur) etwas über dem internationalen Standard von 40 l/dt. Der erreichte Endvergärungsgrad liegt sehr hoch (0-0.2 BLG), d. h. es findet eine vollständige Vergärung ohne Hemmung der Hefen statt
- Wiederholung von Gärversuchen mit SMR-beladenen *Solanum tuberosum* erbrachte bei geringen SMR-Konzentrationen 102 %, bei erhöhten Konzentrationen 66 % bzw. 22 % der Ethanolausbeute der Kontrolle

*Durchführung von Biogasversuchen mit SMR-beladenem Pflanzenmaterial vom Testfeld (AP4)*

- Durchführung von Biogasversuchen mit Triticale und *Brassica juncea* vom Testfeld
- Erzielung guter Methan-Ausbeuten im Vergleich zum Kontrollsubstrat; beste Ausbeuten mit Schoten/ Stengeln von *Brassica juncea* (155 NL/kg orgTS) und Korn von Triticale (162 NL/kg orgTS). Prinzipiell ist das Material gut vergärbare; es findet keine Hemmung der Methanbildung statt. Im Faulschlamm (Abprodukt) werden z. T. die Grenzwerte für Schwermetalle erreicht (Cd, Cu, Zn, Ni)

*Durchführung alternativer Verbrennungsversuche (AP5)*

- Erste Versuche zur Veraschung von Triticale vom Testfeld wurden durchgeführt

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

Eine Weiterführung der Versuche gemäß Untersuchungsprogramm (Punkt 2) ist geplant.

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

Ein gemeinsames Poster und Vorträge erfolgten beim Jenaer Sanierungskolloquium im September 2009, ein weiterer gemeinsamer Vortrag auf der IBS 2009 in Bariloche. Die Publikation erster Ergebnisse erfolgte in Adv. Mat. Res. (2009) 71-73, S. 705-708 (Beiträge in den Anlagen).

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Karlsruher Institut für Technologie, Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8548</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2008 bis 31.10.2011	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 349.347,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

#### AP4: Bau Grundmodul

Aufbauend auf den Simulationsstudien wurde mit dem Bau des Grundmoduls begonnen. Das Grundträgersystem ist in seiner Kinematik und Konstruktion speziell für das Mitführen eines Laserbearbeitungskopfes ausgelegt. Der Manipulator ist mit Vakuumsaugplatten ausgestattet, die den Halt an der Oberfläche garantieren. Mit Hilfe von mechanischen sowie pneumatischen Komponenten ist der Manipulator in der Lage, sich an der Oberfläche fortzubewegen. Ein



zusätzlicher Drehantrieb ermöglicht es, Hindernisse zu umfahren. Dadurch kann das Grundträgersystem so positioniert werden, dass Eckbereiche zweier aufgehender Wände optimal bearbeitet werden können. Randstreifen, wie sie sich bei anderen Manipulatoren aus deren Aufbau ergeben, können somit vermieden werden. Schon in den Simulationsstudien wurde darauf geachtet, für das Grundmodul leichte Materialien zu verwenden, um das Gesamtgewicht so gering wie möglich zu halten. Der Manipulator ist modular aufgebaut. Die einzelnen Module können von lediglich einer Person transportiert werden. Dies gewährleistet einen schnellen Auf- und Abbau. Der Bau des Grundmoduls befindet sich derzeit in der Endphase.

#### AP8: Intelligente Steuerung

In den vergangenen Monaten wurde eine intelligente Steuerung entwickelt. Diese erfasst mittels der eingebundenen Sensoren die umgebende Struktur, inklusive Störkanten, Hindernisse und Ecken. Die Programmierung von Teachfunktionen ist möglich. Des Weiteren wurde als Bestandteil der Steuerung das Pneumatik- und Vakuumkonzept für MANOLA erarbeitet. Dieses ist für die Ansteuerung der verschiedenen Zylinder und Ventile von entscheidender Bedeutung. Darüber hinaus regelt das Konzept den Vakuumaufbau und Vakuumerhalt für und während des Betriebs. Die gewählte Steuerungssoftware erlaubt es, dass System jederzeit ohne größeren Aufwand anzupassen bzw. zu erweitern. Zudem wurde berücksichtigt und mit unserem Projektpartner der TU Dresden vereinbart, dass sowohl für den Laser als auch für den Manipulator eine gemeinsame Software- und Hardwareplattform verwendet wird. Damit ist sichergestellt, dass sich beide Projektteile unkompliziert zu einer Einheit zusammenführen lassen.

#### AP9: Messergebnisse

Es wird derzeit die automatische Erfassung, Dokumentation und Weitergabe von Mess- und Arbeitsergebnissen mit zweidimensionaler Visualisierung erarbeitet.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Im nachfolgenden Berichtszeitraum ist der Bau des Grundmoduls abgeschlossen und es erfolgt die erste Versuchsphase. In diesem Zuge wird die für den Manipulator entwickelte Steuerung implementiert und getestet. Des Weiteren wird das Arbeitspaket „Messergebnisse“ bearbeitet und mit dem Bau des Transportwagens begonnen.

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

ATW, Ausgabe August/September 2009

In der Ausgabe August/September 2009 der ATW wurden die bereits erstellten Prototypen AMANDA I–III sowie das aktuelle Forschungsprojekt MANOLA im Beitrag „Innovative Verfahren zur Dekontamination von kerntechnischen Anlagen“ vorgestellt. Bei der ATW handelt es sich um die wichtigste Fachzeitschrift der Deutschen Atomwirtschaft. Somit wurde durch diesen Beitrag ein breites Fachpublikum erreicht und auf das Projekt MANOLA aufmerksam gemacht.

#### 4. Deutsch-Brasilianisches Symposium, Curitiba / Brasilien

Im Rahmen des 4. Deutsch-Brasilianischen Symposiums mit dem Titelthema Nachhaltigkeit wurde unter dem Schwerpunkt „Energie“ auch das Thema Rückbau kerntechnischer Anlagen angesprochen und das Projekt MANOLA vorgestellt.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8558</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2008 bis 30.06.2011	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 438.813,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

- AP1: Bedarfsanalyse: Festlegen der technischen Anforderungen an den manipulatorgetragenen Laserarbeitskopf
- AP2: Grundlagenuntersuchungen: Ermittlung der optimalen Auslegung des 10-kW-Arbeitskopfes, der Sensorik und der Fernbedienelemente
- AP3: Codeentwicklung: Weiterentwicklung der Simulationssoftware für die Interaktion Laser – Betonwand und der Abtragsprozesse
- AP4: Bau Laserbearbeitungskopf: Fertigung des Arbeitskopfes
- AP5: Bau Sensorik: Fertigung der Sensorik für den Laserarbeitskopf
- AP6: Versuchsphase: Experimentelle Untersuchung der Funktionalität des Abtrags- und des Sensorsystems
- AP7: Positionserkennung: Entwicklung und Implementierung der Abtragstiefen-Erkennung
- AP8+9: Intelligente Steuerung und Messwerterfassung: Implementierung einer intelligenten Prozesssteuerung, Erfassung und Dokumentation der Arbeitsergebnisse
- AP10+11: Testphase: praxisnahe Erprobung der Einzelkomponenten und des Gesamtsystems
- AP12: Schlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: In Auswertung der verfügbaren Literatur sowie in detaillierten Gesprächen mit den potenziellen Nutzern (Service/Rückbau, Betreiber) wurden die erforderlichen Parameter für den Laserarbeitskopf festgelegt.  
Optimierungsparameter: maximaler Flächenabtrag bei einer durchschnittlichen Abtragstiefe von 3 mm (maximale Abtragstiefe: < 5 mm).
- AP2: Ausgehend vom im AP1 festgelegten Zielparame-ter und der maximal zur Verfügung stehenden Laserleistung von 10 kW erfolgte die Auslegung, Konstruktion und techni-

sche Realisierung eines labortechnischen Laserarbeitskopfes. Durch die modulare Bauweise ist es möglich, schnell und mit geringem Aufwand Modifikationen vorzunehmen. Mit dessen Hilfe wurde iterativ das Zusammenwirken der Teilprozesse (Laserprozesses, Austragens der Betonschmelze und Absaugen der erstarrten Partikel) optimiert. Die erreichte Abtragsrate für 3 mm Spurtiefe betrug 1,2 m<sup>2</sup>/h. Diese Ergebnisse bilden die Basis zur Konstruktion des in AP4 zu fertigen industrietauglichen Arbeitskopfes. Des Weiteren sind sie die Grundlage zur Auslegung der für einen industriellen Einsatz erforderlichen Sensortechnik zur autarken Steuerung des Dekontaminationsprozesses. Die Arbeiten sind abgeschlossen

- AP3: Die mathematische Simulation des Gesamtprozesses (Laser-Beton-Interaktion, Schmelzeaustrag, pneumatische Absaugung) bildet die Grundlage, um für künftige Anforderungsprofile (radioaktive/toxische Belastung, Abtragstiefe, Betonzusammensetzung) schnell die optimalen Parameterkombinationen (Laservorschub, Ausblasdruck, pneumatische Pulslänge, Absaugleistung) bereitstellen zu können. Die Entwicklungsarbeiten und die Datenzusammenstellung werden z. Zt. durchgeführt.
- AP4: Ausgehend von den in AP2 gewonnenen Erkenntnissen wird z. Zt. die Konstruktion eines industrietauglichen und mit Sensortechnik ausgerüsteten Laserarbeitskopfes forciert.
- AP5: Die technische Integration der Sensorik in den Laserarbeitskopf ist abgeschlossen. In Abstimmung mit den Projektpartnern am KIT wurden die jeweiligen elektronischen Schnittstellen zwischen dem weitestgehend separaten Sensorsystem des Manipulators und des Laserarbeitskopfes festgelegt. Des Weiteren wurde die Steuerung des Arbeitskopfes während des Abtragsprozesses und die Bewegung des Manipulators aufeinander abgestimmt. Z. Zt. wird an der Entwicklung der Sensorauswertungs- und Steuersoftware gearbeitet.
- AP6: Sowohl an speziell gefertigten Betonproben (exakt definierte, homogene Zusammensetzung) als auch an Originalbetonen aus dem Rückbau (KKW Würgassen) wurde die Funktionalität der Technologie demonstriert. Die Tests werden fortgeführt.

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

Weiterführung der Arbeiten laut Arbeitsplan. Schwerpunkte sind:

- Erstellen eines mathematischen Modells für das Aufschmelzen des Betons und den auftretenden chemischen und thermodynamischen Phänomenen als Grundlage für die Simulation des kompletten Abtragverfahrens (AP3).
- Entwicklung und Erprobung der Steuerung für den Arbeitskopf in enger Kooperation mit den Projektpartnern (AP5).
- Fortführung der Versuche mit Originalbeton aus KKW's. Weitere iterative Verbesserung des Arbeitskopfes, aufbauend auf den Erkenntnissen aus diesen Versuchen (AP6).
- Untersuchungen zum Abtrag von Schutzlacken von Oberflächen, wie er in KKW's üblicherweise eingesetzt wurde (AP6).

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

Vortrag auf KONTEC 2009, Vortrag auf ICONE 2009.

<b>Auftragnehmer:</b> GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8578</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Strahlenschutzaspekte bei der Auswahl von Abbau- und Dekontaminationstechniken		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2008 bis 31.07.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 312.611,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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

- AP1: Anfang 2009 beendet.
- AP2: Die Arbeiten zu Erfassungsbögen zur systematischen Erfassung relevanter Daten in aktuellen Stilllegungsprojekten wurden im Berichtszeitraum beendet. Rückäußerungen der Stilllegungsprojekte zeigen, dass die Erfassungsbögen geeignet sind, relevante Daten zu erfassen. Allerdings kann die anlageninterne Aufbereitung evtl. vorhandener Daten im Sinne der Erfassungsbögen mit hohem Aufwand verbunden sein.
- AP3: Die Erfassung relevanter Daten wurde mit verschiedenen Stilllegungsprojekten erörtert. Es zeigte sich hierbei, dass im Allgemeinen strahlenschutzrelevante Daten (z. B. Expositionsdaten) nicht bezogen auf die eingesetzten Techniken, sondern bezogen auf Abbaugewerke erfasst werden. Entsprechend zeichnet sich ab, dass der Umfang der verfügbaren Daten geringer ausfallen wird, als ursprünglich angenommen. Im Berichtszeitraum wurde mit der Sammlung von Daten in zwei Stilllegungsprojekten begonnen. Weitere Stilllegungsprojekte wurden um konkrete Unterstützung angefragt.
- AP4: Mit einer ersten Auswertung verfügbarer Daten wurde begonnen. Es zeigt sich hierbei, dass die bisher verfügbar gewordenen Daten eher exemplarischen Charakter besitzen und die angestrebte systematische Zusammenstellung von Daten zu den verschiedenen Dekontaminations- und Abbautechniken nicht in dem Umfang möglich sein wird, wie dies ursprünglich angedacht war.
- AP5: Keine.
- AP6: Kontakte zu Stilllegungsprojekten wurden weiter ausgebaut.
- AP7: Nationale und internationale Entwicklungen wurden fortlaufend verfolgt. Hierbei wurden u. a. gezielte Recherchen zu strahlenschutzrelevanten Daten durchgeführt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im 1. Halbjahr 2010 soll die Sammlung und Auswertung strahlenschutzrelevanter Daten entsprechend AP3 und AP4 fortgesetzt werden. Gleichzeitig werden die Arbeiten zur Erstellung des Fachberichts begonnen. Die Struktur wird dabei dem voraussichtlich zu erwartenden Umfang verfügbarer Daten Rechnung tragen. Entsprechend ist vorgesehen, übergeordnete Aspekte bei der Auswahl von Abbau- und Dekontaminationstechniken neben den Strahlenschutzaspekten stärker zu behandeln. Um weitere Anlagen bei der Datensammlung berücksichtigen zu können, ist eine kostenneutrale Verlängerung des Vorhabens bis Ende 2010 angedacht.

Ende des 2. Quartals 2010 ist ein Workshop zu den bisherigen Zwischenergebnissen des Projektes vorgesehen; er richtet sich hierbei im Sinne einer Maßnahme zu AP6 an interessierte und beteiligte Stilllegungsprojekte.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Poster auf dem Stand des Projektträgers auf der KONTEC 2009 in Dresden vom 15. bis 17. April 2009 in Dresden.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8588</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> 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> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2008 bis 31.12.2011	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 656.483,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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 bei verschiedenen Beanspruchungsgeschwindigkeiten und Temperaturen systematisch experimentell bestimmt. Mit diesen Daten werden Materialmodelle zur numerischen Analyse mittels der Finite Elemente (FE) - Methode entwickelt und 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 konstanten Dehnraten an einem servohydraulischen Stoßprüfstand für Probenwürfel aus PU-Schaum, Dämpferbeton und Holz mit den Parametern Dehnrates, Temperatur, Probengröße und Werkstoffqualität mit und ohne Querdehnungsbehinderung. Vorversuche an Aluminiumquadern.
- AP2: Drucklast-Verformungskennlinien bei veränderlichen Dehnraten am geführten Fallprüfstand für Probenwürfel aus PU-Schaum, Polymerbeton und Holz mit den Parametern Kompressionsgrad, Temperatur, Probengröße und Werkstoffqualität. Vorversuche an Aluminiumquadern.
- AP3: Modellversuche am geführten Fallprüfstand der BAM oder im Freifall mit Dämpferbetonplatten unter Einwirkungen kugelförmiger, zylindrischer und kubischer Aufprallkörper.
- AP4: Begleitende FE – Berechnungen: Erstellung von FE - Strukturmodellen zur Voraus- und Nachberechnung der Versuche; Neu- bzw. Weiterentwicklung und Implementierung von Materialmodellen für FE Systeme.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Arbeiten zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit der zu erhebenden Versuchsergebnisse:

- Quantifizierung der Nachgiebigkeit des Prüfstandes und des Einflusses der Messeinrichtungen auf die Versuchsergebnisse durch Gegenüberstellung von experimentellen und validierten numerischen Daten.
- Weiterentwicklung der Datenblätter zur Erfassung der Charakteristika der einzelnen Probekörper mit einem allgemeinen und einen werkstoffspezifischen Teil: Dokumentation zusätzlicher Informationen beim Werkstoff Holz (Materialfeuchte, Oberflächenansicht, DIN-Sortierklasse) zur Abbildung der Inhomogenitäten.
- Fertigstellung der Einspannvorrichtung für Versuche mit Querdehnungsbehinderung; Adaption an den servohydraulischen Stoßprüfstand; Vorversuche zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit.

Durchführung und Abschluss der Druckverformungsversuche ohne Querdehnungsbehinderung unter verschiedenen, konstanten Belastungsgeschwindigkeiten:

- PU-Schaum: Ermittlung von dehnratenabhängigen Spannungs-Dehnungs-Verläufen mit geringen Standardabweichungen über einen breiten Stauchbereich; Identifikation einer näherungsweise linearen Abhängigkeit der Festigkeit von der Dichte; numerische Simulation der quasi-statischen Beanspruchungen mittels Standardmaterialmodellen; zur Modellierung der Dehnratenabhängigkeit sind Daten der weiteren geplanten Testreihen mit Querdehnungsbehinderung erforderlich.
- Dämpferbeton: Versagen in uniaxialen Tests bereits bei geringen Beanspruchungen, mit Querdehnungsbehinderung sind hohe Kompressionsgrade realisierbar; Modellierung des elastischen Bereiches mit linearem, dehnratenunabhängigem Materialgesetz.
- Holz: Erhöhte Anzahl von Experimenten pro Testserie mit festgelegter Verteilung hinsichtlich Sortierklassen aufgrund des stark streuenden und orthotropen Verhaltens von Holzwerkstoffen; quer zur Faser belastete Körper erreichen ohne Einspannvorrichtung erhebliche Kompressionsgrade, bei axialer Beanspruchung stochastische Ergebnisse infolge von Abplatzungen; für numerische Simulation ist die Weiterentwicklung der verfügbaren Materialmodelle sowie Erhebung der weiteren konzipierten Versuchsdaten erforderlich.

Untersuchung von Optimierungsstrategien bei der Parameteridentifikation:

- Auswahl einer Kombination aus künstlichem neuronalem Netz und lokalem Simplex-Verfahren.

Experimentelle und numerische Studien zur Ermittlung von optimalen Prüfgeschwindigkeiten für temperierte Proben.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung und Auswertung der querdehnungsbehinderten Stauchversuche mit und ohne Temperierung am servohydraulischen Stoßprüfstand
- Implementierung und Evaluierung der ausgewählten Optimierungstechniken zur Parameteridentifikation
- Numerische Simulation aller bisherigen Druckversuche
- Weiterentwicklung der einzusetzenden Materialmodelle
- Konzeption und Konstruktion der Versuchseinrichtung am geführten Fallprüfstand

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Kasperek, E., Zencker, U., Scheidemann, R., Völzke, H., Müller, K.: Numerical and experimental studies of polyurethane foam under impact loading, IWCCM (International Workshop on Computational Mechanics of Materials) 1. - 4.9.2009, *eingereicht zur Veröffentlichung in Computational Materials Science*

<b>Zuwendungsempfänger:</b> WTI Wissenschaftlich-Technische Ingenieurberatung GmbH, Karl-Heinz-Beckurts-Str. 8, 52428 Jülich		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 S 8598</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</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)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2008 bis 31.12.2011	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 458.849,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> 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:

- AP1: Ermittlung von Last-Verformungskennlinien an Proben für Holz, PU-Schaum und Dämpferbeton 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.
- AP2: Ermittlung von Last-Verformungskennlinien an Proben für Holz, PU-Schaum und Dämpferbeton 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.

AP3: Durchführung von Modellversuchen an kleinmaßstäblichen Referenzstrukturen von stoßdämpfenden Komponenten.

AP4: Begleitende Finite-Elemente (FE) – Berechnungen zur Implementierung der ermittelten Werkstoffkennwerte in entsprechende Werkstoffmodelle.

AP5: Erstellung des Abschlussberichtes.

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

Die Aktivitäten der Projektpartner (BAM, GNS, WTI) wurden im Rahmen des 2. Projektgespräches am 25. Juni 2009 aufeinander abgestimmt. Zwischen der WTI, der BAM und der Hochtief Construction AG wurde eine Kooperationsvereinbarung zur Lieferung der Proben aus Dämpferbeton und der zugehörigen Materialdaten geschlossen. Die Bereitstellung der zahlreichen Proben aus den Materialien Holz, PU-Schaum und Dämpferbeton wurde durch WTI veranlasst. Zusätzlich wurde für Vorversuche, die der Kalibrierung der Prozessabläufe dienen, Probenmaterial aus Aluminium beschafft.

Im Rahmen des 3. Projektgespräches am 16. November 2009 in Essen wurde über erste Versuche ohne Querdehnungsbehinderung durch die BAM informiert. Die Vorversuche an den oben genannten Aluminium-Proben wurden in der Zwischenzeit durchgeführt und dokumentiert. Die Messwerte liegen zur Weiterverarbeitung als Rohdaten vor.

Die experimentellen Analysen ohne Querdehnungsbehinderung bei Raumtemperatur von Holz, PU-Schaum und Dämpferbeton sind durchgeführt und dokumentiert worden. Messwerte zu den Versuchen liegen ebenfalls als Rohdaten vor.

Die Lieferung der Vollholzproben an die BAM ist weitgehend abgeschlossen. Weitere Probenvarianten, insbesondere aus geschichtetem Holz und Holz mit schräg verlaufenden Fasern, sind durch WTI beauftragt worden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Lieferung der Proben aus geschichtetem Holz an die BAM.
- Lieferung und Einbau der Dämpferbeton-Steine an der Versuchsanlage der BAM.
- Lieferung von zusätzlichen Holzproben mit schräg verlaufenden Holzfasern an die BAM.
- Abgleich des weiteren Vorgehens bei der numerischen Simulation der bereits erfolgten experimentellen Untersuchungen zwischen der BAM und WTI/GNS.
- Begleitung der bevorstehenden experimentellen Untersuchungen an Holzproben bei den verschiedenen Umgebungsbedingungen.
- Fortsetzung der noch laufenden Beschaffungsvorgänge von Proben und Versuchsmaterial.
- Erarbeitung von Gesetzmäßigkeiten aus den experimentellen Daten zur Modellierung der Materialverhaltensweisen.

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

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Karlsruher Institut für Technologie, Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8608</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> ASTU Automatische Seilsägetechnologie für Unterwasserdemontage		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.03.2009 bis 29.02.2012	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 250.345,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Gentes	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Aufbauend auf den Voruntersuchungen der Unterwasserdemontage mittels Seilsäge soll ein Versuchsstand entworfen werden, mit dem die bisher nicht erforschte Seilsägetechnologie für verschiedene Materialien wissenschaftlich untersucht werden soll. Kenngrößen wie auftretende Kräfte, Pneumatikdruck, Seilspannung und Leistung, abhängig von der hydraulischen oder elektrischen Antriebsart des Motors etc., werden exakt aufgenommen und daraus ein Seilsägemodell entwickelt.

Dieses Modell soll für unterschiedliche Materialien und Geometrien Vorhersagen zu den optimalen Schnittparametern liefern. Dadurch wird eine Verringerung der Schnittzeit ermöglicht, wodurch Seilsägearbeiten besser kalkulierbar und dadurch wirtschaftlicher werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

AP1: Entwurf und Bau eines Grundversuchsstandes mit integrierter Messsensorik

AP2: Grundlagenversuche

AP3: Spezielle Leistungsuntersuchungen

AP4: Modellbildung

AP5: Strömungsuntersuchungen

AP6: Korrosionsverhalten und Wasserchemie

AP7: Emissions- und Immissionsverhalten

AP8: Strahlenexposition beim Seilsägen

AP9: Optimierung und Weiterentwicklungen

AP10: Schlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

#### AP2: Grundlagenversuche

Es wurden erste Grundlagenversuche an Stahl (S235JR) durchgeführt. Neben einer Variation der Seilgeschwindigkeit zwischen 15/20/25 m/s wurde auch der vom Pneumatikzylinder aufgebrauchte Druck, um das Seil auf Spannung zu halten, zwischen 1,0 bar und 1,5 bar variiert. Über den Druck wird eine Seilkraft induziert, welche wiederum mit Hilfe des Eingriffswinkels eine Normalkraft erzeugt, die das Seil in Richtung der Probe drückt. Es hat sich herausgestellt, dass der aufgebrauchte Druck eine überaus wichtige Größe im Bezug auf die Sägeleistung darstellt. Schon ein Herabsetzen des Druckes von 1,5 bar auf 1,0 bar verursacht, bei ansonsten gleichen Randbedingungen, eine Sägezeiterhöhung um 132 %. Eine Verringerung der Seilgeschwindigkeit von 20 m/s auf 15 m/s hat nur eine Erhöhung von 20 % der Sägezeit zur Folge. Dies zeigt, dass der Druck die dagegen maßgebende Größe im Bezug auf die Sägeleistung darstellt.

Des Weiteren wurde festgestellt, dass die mittlere Spangröße sich durch Variation der Parameter kaum verändert. Die mittlere Korngröße liegt fast immer im Bereich von 180  $\mu\text{m}$ . Bei geringerem Druck verringert sich die Korngröße marginal, da die Spanabtragtiefe aufgrund der verringerten Normalkraft nicht mehr so stark ausgeprägt ist.

Es hat sich gezeigt, dass es eine Begrenzung, verschuldet durch die Antriebsleistung der Motoren in der Parametervariation gibt. Die Seilsäge kann maximal 15 kW Leistung abgeben. Diese ist bei einer Einstellung von 1,5 bar und 25 m/s schon überschritten. Folgende Versuche werden bei 1,5 bar und 20 m/s ausgeführt, da hier die Anfangsleistung 13 kW beträgt.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

#### AP3: Spezielle Leistungsuntersuchungen

Im nachfolgenden Berichtszeitraum wird nach Abschluss der Grundlagenuntersuchungen das Arbeitspaket 3 mit den speziellen Leistungsuntersuchungen begonnen. Dabei soll eine Variation von Material und Geometrie durchgeführt werden, um genug Messwerte für die Modellerstellung verfügbar zu haben. Als Materialvariation ist Stahlbeton sowie Edelstahl (1.4301) vorgesehen.

Bei der Geometrievariation sollen vor allem der Unterschied zwischen runden und eckigen Profilen untersucht werden, um Kanteneinflüsse besser identifizieren zu können. Ebenfalls sollen zusammengesetzte Geometrien untersucht werden, damit das Modell ein höheres Maß an Aussagekraft gewinnt.

Weiter Modifikationen an Prüfstand und Messtechnik sind möglich.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Es wurde ein Beitrag zur Jahrestagung Kerntechnik 2010 eingereicht.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Brenk Systemplanung GmbH, Heider-Hof-Weg 23, 52080 Aachen		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8619</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> EDV-Programm zur Unterstützung und Dokumentation der Gebäudefreigabe kerntechnischer Anlagen (PUG)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2009 bis 30.09.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.04.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 254.000,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Schartmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Programms zur softwaretechnischen Unterstützung des Freigabeprozesses an stehenden Gebäudestrukturen. Mit Hilfe eines derartigen Programms können viele Schritte des Freigabeprozesses automatisiert werden. Dies gilt insbesondere für die sehr zeitaufwändigen Schritte

- Erfassung und Übernahme der Raumgeometrie,
- Erstellen der Mess- und Beprobungspläne,
- Erfassung und Übernahme der Mess- und Beprobungsergebnisse sowie
- Erstellen der Freigabedokumentation.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Zuordnung und Visualisierung aller im Prozess erzielten Informationen und Messergebnisse jeweils zu den entsprechenden Flächen, wodurch diese Informationen über den gesamten Freigabeprozess, der sich über viele Jahre hinziehen kann, stets abrufbar sind. Die CAD-Zeichnungen der Anlage können jeweils dem aktuellen Anlagenzustand, der sich ggf. durch Umbauarbeiten geändert hat, angepasst werden.

Verbunden mit dieser Automatisierung und Visualisierung können die Freigabeprozesse mit höherer Prozesssicherheit und trotzdem beschleunigt und damit kostengünstiger durchgeführt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Analyse und Definition der Anforderungen
- AP2: Architektur der Software
- AP3: Erstellung eines Objektmodells
- AP4: Implementierung
  - AP4.1: Aspekte
  - AP4.2: Auswertemodul
  - AP4.3: Importschnittstellen
  - AP4.4: Dokumentation, Berichte und Exportschnittstellen
  - AP4.5: Andere Geschäftslogik
  - AP4.6: Datenbank
  - AP4.7: Grafische Benutzerschnittstelle
- AP5: Integrationstest
- AP6: Abschlussdokumentation

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Die Verfahrensabläufe bei der Freigabe von Gebäuden wurden analysiert und detailliert beschrieben. Es wurden programmtechnisch abzubildende Einheiten bei der Freigabe von Gebäuden beschrieben. Es wurden Anforderungen an den Dateninput, die vom Programm zu erstellenden Berichte, die Oberfläche des Programms und die zu implementierenden Auswertungen festgelegt. Die in einem Freigabeprojekt zu erwartenden Datenmengen wurden abgeschätzt. Der Arbeitspunkt wurde abgeschlossen. Es haben sich keine Ergebnisse ergeben, die gegen eine erfolgreiche Implementierung sprechen.
- AP2: Die Benutzergruppen der Software und ihre spezifischen Anforderungen sowie deren Rückwirkungen auf die Architektur der Software wurden beschrieben. Die Prinzipien für die Implementierung des Programms (Komponentenorientiertes Design, Contract-First-Design, Dependency-Injection und Schichtenmodell) wurden festgelegt. Ein Schichtenmodell für das Programm wurde erstellt. Der Arbeitspunkt wurde abgeschlossen. Es haben sich keine Ergebnisse ergeben, die gegen eine erfolgreiche Implementierung sprechen.
- AP3: Der Arbeitspunkt wurde abgeschlossen. Es wurde ein Objektmodell erstellt. Es umfasst die fachlich zusammengehörenden Gebiete (Namespaces) Nuklide, Geometrie, Messgeräte, Messungen, Personen/Rechte sowie Auswertungen. Es haben sich keine Ergebnisse ergeben, die gegen eine erfolgreiche Implementierung sprechen.
- AP4: Die Implementierung (Umsetzung des Objektmodells in Code, Implementierung erster Tests, Implementierung erster Schnittstellen, Implementierung erster Teile des Auswertemoduls) wurde begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Weiterführung der Arbeiten mit Schwerpunkt auf AP4 – Implementierung.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8629</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Prozessentwicklung zur trockenen Bearbeitung von metallischen und mineralischen Strukturen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (ProBeSt)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.04.2009 bis 30.06.2012	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.04.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 275.294,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Denkena	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In den kommenden Jahren müssen aufgrund des Beschlusses zum Ausstieg aus der Kernenergie zahlreiche Kernkraftwerke rückgebaut werden. Aufgrund des hohen Maßes an Flexibilität hinsichtlich der zu trennenden Bauteilgeometrie und Werkstoffzusammensetzung, des geringen Platzbedarfes der einzusetzenden Maschine, des geringen Rüstaufwandes, der Fernhantierbarkeit sowie der Gewährleistung eines sicheren Nachweises über die Trennung des Materials kommt hierbei das Seilschleifverfahren verstärkt zum Einsatz. Aktuell wird dieser Prozess unter Zuführung von Wasser als Kühlschmierstoff eingesetzt, um die prozessbedingt entstehende Wärme abzuführen. Hierbei kann eine Kontaminationsverschleppung jedoch zumeist nicht verhindert werden. Der alternative, trockene Einsatz des Seilschleifens verhindert zwar die Kontaminationsverschleppung durch Kühlwasser, führt aber zu einem extrem hohen Werkzeugverschleiß und damit zu sehr geringen Werkzeugstandzeiten. Parallel dazu entsteht, speziell beim Bearbeiten mineralischer Strukturen, eine große Menge Staub, welche nur mit hohem Einhausungs- und Absaugungsaufwand erfasst werden kann.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es daher, Werkzeuge und Maschinenkomponenten zu entwickeln, herzustellen und auf ihre Funktionstüchtigkeit hin zu überprüfen, welche eine trockene Bearbeitung metallischer und mineralischer Strukturen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen mittels Seilschleifen ermöglichen.

Wesentliche Herausforderungen im Rahmen dieses Projektes sind die Entwicklung eines auf einem nichtflüssigem Kühlmedium basierenden Kühlsystems, die Entwicklung einer flexiblen und prozesssicheren Staubabsaugung sowie die Gewinnung grundlegender Erkenntnisse über den Einsatz temperaturbeständiger Schneidstoffe wie CBN oder Wolframkarbid in Seilschleifwerkzeugen. Die Entwicklung angepasster Maschinenkomponenten stellt einen weiteren Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dar.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Erstellung eines Anforderungsprofils für Werkzeug und Maschine
- AP2: Aufbau des Versuchstandes und der Messkette, Herstellung der Versuchswerkstücke
- AP3: Schnittuntersuchungen an Stahlbauteilen zur Ermittlung der auftretenden Prozesstemperaturen (ohne Kühlung)
- AP4: Entwicklung eines Kühlmedium-Zufuhrsystems zur Kühlung des Seils (ohne flüssigen Kühlschmierstoff)
- AP5: Entwicklung eines Systems zur Erfassung bzw. Absaugung der metallischen Späne und zur Säuberung des Werkzeuges
- AP6: Herstellung und Einsatz von Seilschleifwerkzeugen mit alternativen Schneidstoffen

- AP7: Maschinenentwicklung
- AP8: Aufbau eines Gesamtsystems und ganzheitliche Überprüfung der Leistungsfähigkeit
- AP9: Erweiterung des Anwendungsfeldes des neuen Systems auf Beton/Stahl-Verbunde
  - a) Anpassung der Staubabsaugung
  - b) Schnittuntersuchungen an Stahl/Beton-Verbunden
  - c) Anpassung der Kühlparameter
  - d) Ganzheitliche Überprüfung der Systemleistungsfähigkeit
- AP10: Dokumentation

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

- AP1: Die Arbeiten an Arbeitspaket 1 wurden mit Ausnahme von möglichen, fertigungsbedingten Anpassungen bei der eigentlichen Herstellung der Werkzeug- und Maschinenprototypen abgeschlossen. Hierbei fanden Rahmenbedingungen, wie beim Rückbau kerntechnischer Anlagen typischerweise zu trennende Werkstoffe, typische Werkstückmaße und Zugänglichkeiten sowie sicherheitstechnische Anforderungen, Berücksichtigung. Zudem wurde aus der Abschätzung der auftretenden Prozesstemperaturen ein zu favorisierendes, nichtflüssiges Kühlmedium sowie eine passende Zufuhreinrichtung und die entsprechende Zufuhrposition festgelegt.
- AP2: Die Arbeiten an Arbeitspaket 2 wurden ebenfalls abgeschlossen. Im Rahmen dessen erfolgte die Anpassung des am IFW vorhandenen Seilschleif-Versuchsstandes sowie die Überprüfung der für den Untersuchungseinsatz geplanten Messtechnik. Darüber hinaus wurden Versuchswerkstücke unterschiedlicher Stahlsorten mit der Möglichkeit zur Variation der geometrischen Kontaktlänge beschafft und für die Trennschleifuntersuchungen vorbereitet.
- AP3: Im Rahmen des Arbeitspaketes 3 wurden erste Untersuchungen zu den beim trockenen Seilschleifen reiner Stahlstrukturen auftretenden Prozesstemperaturen durchgeführt.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- AP3: Im Rahmen der weiterführenden Arbeit an Arbeitspaket 3 erfolgt die Variation der Schnittgeschwindigkeit, des den Werkzeugvorschub erzeugenden Druckes, des zu trennenden Materials sowie der geometrischen Kontaktlänge im Trennschleifprozess. Auch in diesen Untersuchungen werden die Prozesstemperaturen aufgenommen und mit dem mikroskopischen und makroskopischen Verschleiß sowie den Prozesskräften bzw. -energien und dem erzielten Zeitspannvolumen korreliert. Auf diese Weise wird ein idealer Betriebspunkt für das trockene Seilschleifen metallischer Strukturen in Abhängigkeit von den benötigten Energien und dem auftretenden Verschleiß bestimmt. Gleichzeitig kann über die auftretenden Prozesstemperaturen die vom zu entwickelnden Kühlsystem abzuführende Wärmemenge genau bestimmt werden. Diese Untersuchungen werden aktuell ausgewertet.
- AP4: Im Rahmen von Arbeitspaket 4 wird die im Vorhinein für das Kühlmedium bestimmte Zufuhreinrichtung und -position am vorhandenen Seilschleif-Versuchsstand installiert und im Einsatz untersucht. Eine mögliche Variation der Zufuhr sowie der Zufuhrposition werden hierbei berücksichtigt. In Analogie zu Arbeitspaket 3 werden auch hier die während der Schnittuntersuchungen auftretenden Prozesstemperaturen in Abhängigkeit der verschiedenen Prozessparameter bestimmt. Auf diese Weise werden jene Parameter ermittelt, mit denen eine ausreichende und zuverlässige Kühlung des Werkzeuges gewährleistet werden kann.

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

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> SAT Kerntechnik GmbH, Vangionenstr. 15, 67547 Worms		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8639</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Neue Verfahrenstechnik zur Dekontamination und Probenahme in kontaminierten Rohrleitungen mittels Vibrationstechnik		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.05.2009 bis 30.04.2011	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.05.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 297.800,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Gese	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Zum Entfernen von Ablagerungen und Verkrustungen in Rohren werden in der Regel unterschiedliche Strahlverfahren zum Ablösen der Ablagerungen eingesetzt. Normalerweise geschieht dies im Trocken- oder Nassverfahren, wobei die eingesetzten Hilfsstoffe beim Reinigungsvorgang durch die gelösten Ablagerungen kontaminiert werden und somit anschließend als Sekundär-Abfall anfallen.

In diesem Forschungsvorhaben wird ein auf der Vibrationstechnologie basierendes, mechanisches Abtragverfahren zum Entfernen der Rohr-Ablagerungen entwickelt. Ziel ist es, durch den Wegfall der Hilfsstoffe, die immer als kontaminiertes Sekundär-Abfallprodukt anfallen, einen effizienteren, umweltfreundlicheren und schnelleren Dekontaminationsprozess zu ermöglichen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Entwurf und Aufbau eines Versuchsstandes
- AP2: Simulieren von Ablagerungen in Rohrabschnitten und Durchführung von Versuchen zum Herauslösen derselben aus den Rohren
- AP3: Entwicklung eines Werkzeuges zum Herauslösen der Ablagerungen
- AP4: Entwurf und Umsetzung eines Konzeptes zum Bewegen des Werkzeuges durch das Rohr
- AP5: Entwicklung eines Konzeptes zum Abtransport der gelösten kontaminierten Ablagerungen aus dem Rohr
- AP6: Untersuchungen zur Bestimmung der Zusammenhänge zwischen den Prozessgrößen und Einflussfaktoren
- AP7: Sicherstellung einer restlosen Dekontamination der Rohre
- AP8: Bau und Validierung des Prototyps
- AP9: Dokumentation und Schlussbericht



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

AP1: Entwurf und Aufbau eines Versuchsstandes

Die Konstruktion und der Aufbau des Versuchstandes sind zum größten Teil abgeschlossen. Mit dem Versuchstand sollen Dekontaminationsversuche an Rohrabschnitten durchgeführt werden.

AP2: Simulierung von Ablagerungen in Rohrabschnitten und Durchführung von Versuchen zum Herauslösen dieser Rückstände aus den Rohren

Die Rohrabschnitte wurden mit unterschiedlichen Ablagerungen versetzt. Anschließend wurden mechanische Abtragversuche mit Hilfe eines am Markt erhältlichen Vibrationsgeräts durchgeführt. In diesem Experiment konnte gezeigt werden, dass ein Entfernen der Ablagerungen mit diesem Verfahren generell möglich ist.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP1: Entwurf und Aufbau eines Versuchsstandes

Komplettierung und Erweiterung des Versuchstandes. Einbau einer Messsensorik zur Messung von Belastung und Schwingung innerhalb des Rohres.

AP3: Entwicklung eines Werkzeuges zum Herauslösen der Ablagerungen

Aufbauend auf den Grundlagenuntersuchungen in AP2 werden als nächstes experimentelle Untersuchungen mit dem Ziel, ein Verfahren zur Ermittlung optimaler Werkzeuggeometrie, durchgeführt. Dazu sind zunächst Optimierung und Anpassung an einem am Markt erhältlichen Vibrationsgerätes durchzuführen, so dass dieses Gerät als Werkzeugträger eingesetzt werden kann.

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

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> HERRENKNECHT AG, Schlehenweg 2, 77963 Schwanau		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8649</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Innovativer Abbruch massiger Stahlbetonstrukturen (INAS)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2009 bis 30.06.2012	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 691.348,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Edelmann	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In einer Kooperation des Instituts für Fahrzeugtechnik und Mobile Arbeitsmaschinen (Mobi-ma) und des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), beide am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie der Herrenknecht AG, wird im Rahmen des Verbundprojektes „Innovativer Abtrag massiger Stahlbetonstrukturen“ ein System zum räumlich begrenzten, fernhantierten und definierten Abtrag hoch bewehrter Stahlbetone bei gleichzeitiger Förderung und endlagergerechter Verpackung des Abraums entwickelt.

Das definierte Abtragen von Stahlbeton stellt gerade beim Rückbau von nuklearen Anlagen einen zentralen Punkt dar. Das Hauptziel ist dabei, das kontaminierte Material selektiv abzutragen, um das verbleibende Material, das bezogen auf die Gesamtanlage bzw. Gesamtmassen den überwiegenden Anteil darstellt, dem normalen Recyclingkreislauf zuführen zu können. Ein Problem besteht aktuell in dem Abbruch und selektiven Tiefenabtrag von Stahlbetonen, z. B. bei Rissen oder Ausbrüchen. Es existiert kein Verfahren, das den Beton samt Bewehrung mit nur einem Arbeitsgang bzw. Übergang bis zu 20 cm tief abträgt. Ebenso gibt es kein Verfahren das in Rissen angewendet werden kann, in denen Stahlbeton sehr begrenzt, beispielsweise 30 cm tief, ausgefräst werden muss, so dass die Oberflächen danach freimessbar sind.

Im Rahmen des Vorhabens wird ein neues und universell einsetzbares System entwickelt, das es den Rückbauern zum ersten Mal ermöglicht, hoch bewehrten Stahlbeton in einem Arbeitsgang ohne System- und Komponentenwechsel rückzubauen und dabei den Personaleinsatz zu minimieren.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Recherche zum Stand der Technik und Konzipierung des neuen Schneidgerätes
- AP2: Verifikation der angestrebten Schneidtechnologie
- AP3: Konzeption, Auslegung, Fertigung und Montage der Manipulatoranbindung
- AP4: Entwicklung, Fertigung und Montage der Fördereinrichtung für den Abraum
- AP5: Funktionstest des Prototyps im Labor
- AP6: In-situ-Testreihe

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Mit Bekanntwerden der Genehmigung des Forschungsvorhabens am 26.08.2009 wurde entsprechend des Arbeitsplans und der Zuständigkeit der Herrenknecht AG eine umfassende Recherche von Schneidtechniken in Bezug auf Schneiden, Abtragen und Bearbeiten von Stahlbetonstrukturen durchgeführt. Die ermittelten Schneidtechniken und Schneidtechnikkombinationen wurden anschließend auf ihre Eignung zum Bearbeiten von Stahlbeton untersucht und bewertet. Die daraus resultierenden Ergebnisse wurden detaillierter betrachtet und mögliche Lösungsansätze mit einzelnen Verfahren und Verfahrenskombinationen erstellt. Aus dieser Untersuchung ging hervor, dass eine Verfahrenskombination aus Sägen und einer angeregten Hinterschneiddiske für den Abtrag von Stahlbetonstrukturen am besten geeignet ist. Gerade beim Verfahren der angeregten Hinterschneiddiske ist mit großen Abtragsleistungen zu rechnen, aus diesem Grund wurde diese Technologie in Zusammenhang mit Stahlbetonabtrag weiter betrachtet. Problematisch ist das Schneiden von Beton in der Kombination mit Stahl. Mit einer Hinterschneiddiske ist das Abtragen von spröden Materialien problemlos möglich, doch gerade in unserem Fall treffen wir auf den sehr zähen Werkstoff Stahl.

Erste Untersuchungen, die Bewehrungsstäbe durch Diamantsägen vorzuschneiden und später die vorgeschneittenen Stäbe mittels der Hinterschneiddiske auszuheben, sind aus heutiger Sicht aufwendig in der Umsetzung. Gerade bei senkrechten Bewehrungsstäben stößt man an die Grenze des Verfahrens. Aus diesem Grund werden weitere Ansätze verfolgt mit denen wir die Vorteile des schnellen Betonabtrags der Hinterschneiddiske (ODC) nutzen und dennoch die Bewehrung schneiden können. Dabei spielt nicht nur die Art der Schneidtechnik sondern auch die Eignung von Schneidwerkstoffen und Kühlmethode eine wesentliche Rolle.

Ergebnisse:

Im bisherigen Projektverlauf konnten wir uns, durch die umfassende Untersuchung von Schneidtechniken, auf ein Verfahren bzw. auf eine Verfahrenskombination fokussieren. Auf dieser Basis wurden erste Schneidtechnikkonzepte erstellt, die in weiterem Projektverlauf überprüft werden müssen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Um möglichst schnell Informationen über die Machbarkeit des Verfahrens zu bekommen sind wir derzeit dabei die Möglichkeiten des Umbaus eines bestehenden Versuchsstands zu untersuchen, und anschließend Versuche zum Thema Beton und Stahlbetonabtrag mit ODC zu machen. Hierbei soll getestet werden wie sich die Schneidtechnik zum Abtragen von Beton und Stahlbeton eignet, wie das Schnittverhalten des Werkzeuges ist und welche Schnittkräfte auftreten. Geplant ist die Bewehrungsstäbe zu den ersten Tests mittels Diamantsägen vorzuschneiden.

Im Weiteren wird untersucht in wieweit sich ein Diamantwerkzeug für diese Abtragsaufgabe eignet bzw. ob ein Diamantwerkzeug für das Verfahren ODC geeignet ist. Auch hier ist geplant Eignungsversuche zum Thema Diamantfräsen von Stahlbetonstrukturen zu machen und so die Funktionsweise des späteren Diamantbesetzten ODC Werkzeuges sicherzustellen.

Für diese Verfahrenskombination wird weiterführend ein Maschinenkonzept erarbeitet welches den Einsatz und die Handhabbarkeit beim Einsatz im Kraftwerksrückbau gewährleistet.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe		<b>Förderkennzeichen:</b>  <b>02 S 8659</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Innovativer Abbruch massiger Stahlbetonstrukturen (INAS)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.07.2009 bis 30.09.2012	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.07.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 716.238,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Gentes	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

In einer Kooperation des Instituts für Fahrzeugtechnik und Mobile Arbeitsmaschinen (Mobi-ma) mit dem Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), beide am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie der Herrenknecht AG, wird im Rahmen des Verbundprojektes „Innovativer Abtrag massiger Stahlbetonstrukturen“ ein System zum räumlich begrenzten, fernhantierten und definierten Abtrag hoch bewehrter Stahlbetone bei gleichzeitiger Förderung und endlagergerechter Verpackung des Abraums entwickelt.

Das definierte Abtragen von Stahlbeton stellt gerade beim Rückbau von nuklearen Anlagen einen zentralen Punkt dar. Das Hauptziel ist dabei, das kontaminierte Material selektiv abzutragen, um das verbleibende Material, das bezogen auf die Gesamtanlage bzw. Gesamtmassen den überwiegenden Anteil darstellt, dem normalen Recyclingkreislauf zuführen zu können. Ein Problem besteht aktuell in dem Abbruch und selektiven Tiefenabtrag von Stahlbetonen, z. B. bei Rissen oder Ausbrüchen. Es existiert kein Verfahren, das den Beton samt Bewehrung mit nur einem Arbeitsgang bzw. Übergang bis zu 20 cm tief abträgt. Ebenso gibt es kein Verfahren, das in Rissen angewendet werden kann, in denen Stahlbeton sehr begrenzt, beispielsweise 30 cm tief, ausgefräst werden muss, so dass die Oberflächen danach freimessbar sind.

Im Rahmen des Vorhabens wird ein neues und universell einsetzbares System entwickelt, das es den Rückbauern zum ersten Mal ermöglicht, hoch bewehrten Stahlbeton in einem Arbeitsgang ohne System- und Komponentenwechsel abzutragen und dabei den Personaleinsatz zu minimieren.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Recherche zum Stand der Technik und Konzipierung des neuen Schneidgerätes
- AP2: Verifikation der angestrebten Schneidtechnologie
- AP3: Konzeption, Auslegung, Fertigung und Montage der Manipulatoranbindung
- AP4: Entwicklung, Fertigung und Montage der Fördereinrichtung für den Abraum
- AP5: Funktionstest des Prototyps im Labor
- AP6: In-situ-Testreihe

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

- AP1: Recherche zum Stand der Technik und Konzepterarbeitung des neuen Schneidgerätes  
Zu möglichen Schneidtechniken für Stahlbeton, möglichen Trägergeräten für das neue Werkzeug und dem Stand der Technik bei der pneumatischen Abraumförderung wurde eine umfassende Recherche durchgeführt. Die Recherche ist zum größten Teil abgeschlossen und auf Basis der Ergebnisse wurden in enger Zusammenarbeit mit der Herrenknecht AG verschiedene Abtragskonzepte erstellt.
- AP3: Konzeption, Auslegung, Fertigung und Montage der Manipulatoranbindung  
Für die Anbindung des Schneidgeräts an ein geeignetes Trägergerät wurde eine detaillierte Anforderungsliste erstellt und erste Konzepte für Teilfunktionen wie z. B. Zustellbewegung, genaue Positionierung des Werkzeugs und Werkzeugvorschub ausgearbeitet.
- AP4: Entwicklung, Fertigung und Montage der Fördereinrichtung für den Abraum  
Für die Fördereinrichtung des Abraums wurden verschiedene Konzepte erstellt. Da die Anforderungen an die Einrichtung stark von der gewählten Schneidtechnik abhängig sind, wurden Varianten für verschiedene Randbedingungen erarbeitet. Als Grundlage für die Konzepterstellung wurden die denkbar ungünstigsten Randbedingungen angenommen sowie auch die Integration von Zusatzgeräten, wie z. B. Brecher und Sortieranlagen, in die Prozesskette vorgesehen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Recherche zum Stand der Technik und Konzepterarbeitung des neuen Schneidgerätes  
Nach der Festlegung auf ein Abtragskonzept soll dieses weiter ausgearbeitet und ein Prototyp konstruiert und angefertigt werden.
- AP2: Verifikation der angestrebten Schneidtechnologie  
Unter Verantwortung der Herrenknecht AG und mit Unterstützung der Institute soll der Prototyp aus AP1 auf einem Prüfstand auf seine Funktion getestet und optimiert werden. Dazu muss zunächst ein geeigneter Prüfstand konstruiert und aufgebaut werden. Im Rahmen dieser Tests sollen außerdem die Anforderungen des Schneidgeräts an die Anbindung und das Trägergerät so detailliert wie möglich ermittelt werden.
- AP3: Konzeption, Auslegung, Fertigung und Montage der Manipulatoranbindung  
Aus den bisher erstellten Teilkonzepten soll ein Gesamtkonzept der Manipulatoranbindung erstellt werden. Im nächsten Schritt wird auf Basis dieses Gesamtkonzepts und der Ergebnisse aus AP2 die Anbindung detailliert konstruiert und ausgelegt.
- AP4: Entwicklung, Fertigung und Montage der Fördereinrichtung für den Abraum  
Die vorhandenen Konzepte der Prozessketten für die Förderanlage werden mit Verifizierung der Schneidtechnologie weiter verfeinert und optimiert. Mit Festlegung auf eine Schneidtechnologie werden pneumatische Leistungsberechnungen zu der Anlage durchgeführt und die einzelnen Bauteile/-gruppen dementsprechend dimensioniert.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8669</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Nutzung von Bremsstrahlungsinformationen für die zerstörungsfreie Charakterisierung radioaktiver Abfälle		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2009 bis 30.09.2012	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 361.830,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Bücherl	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie soll untersucht werden, inwieweit eine Auswertung der in den Spektren von (segmentierten) Gamma-Scan-Messungen an radioaktivem Abfallgebinden enthaltenen Informationen von Bremsstrahlung für eine erweiterte Beschreibung des Nuklidinventars genutzt werden kann. Hierdurch könnte ein Zugang zur zerstörungsfreien Charakterisierung von  $\beta$ -Strahlern in radioaktiven Abfallgebinden geschaffen werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Literaturrecherche  
Identifikation des aktuellen Stands der Technik
- AP2: Identifikation relevanter  $\beta$ -Strahler  
Erfassung aller Nuklide, die für die Erzeugung von Bremsstrahlung in radioaktiven Abfällen in Frage kommen (Tabelle mit charakteristischen Eigenschaften)
- AP3: Physikalische Grundlage  
Zusammenfassung des physikalischen Hintergrundes der Erzeugung von Bremsstrahlung mit Bezug zu typischen Gebinden mit radioaktivem Abfall
- AP4: Durchführung von Testmessungen mit  $\beta$ -Strahlern  
Auswahl von  $\beta$ -Strahlern, die bei RCM verfügbar sind, und Durchführung von Messungen in gut beschriebener Geometrie
- AP5: Erweiterte Testmessungen mit  $\gamma$ - und  $\beta$ -Strahlern  
Messungen zur Erzeugung kombinierter Bremsstrahlungs- und  $\gamma$ -Spektren
- AP6: Auswertung der Testmessungen  
Auswertung der Messergebnisse. Die Möglichkeiten von Identifikation und ggf. auch Quantifikation von  $\beta$ -Strahlern in den verschiedenen Testmessungen wird untersucht. Erarbeitung von Ansätzen für mögliche allgemeine Analyseroutinen
- AP7: Erstellung des Abschlussberichts

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

Im Berichtszeitraum wurde mit der Einarbeitung in den Bereich der Messung radioaktiver Strahlung begonnen (AP1) und parallel hierzu an der Erarbeitung der physikalischen Grundlagen der Wechselwirkung von Strahlung mit Materie (AP3), speziell des Mechanismus, der zur Erzeugung von Bremsstrahlung führt.

In Erweiterung des vorgeschlagenen Arbeitsumfangs wurde mit der Einarbeitung in das Programmpaket EGS (Electron Gamma Shower) begonnen. Dieses soll unterstützend zu den in AP4 und 5 vorgesehenen Messungen eingesetzt werden und durch Simulationsrechnungen die Interpretation der Messergebnisse (AP6) unterstützen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Entsprechend des Arbeitsplans wird mit der Literaturrecherche (AP1) sowie der Erarbeitung der physikalischen Grundlagen (AP3) fortgefahren.

Parallel hierzu wird mit der Erstellung einer Liste relevanter  $\beta$ -Strahler mit ihren Charakteristischen Eigenschaften sowie der Durchführung von ersten orientierenden Testmessungen begonnen.

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

Keine.

<b>Auftragnehmer:</b> DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8679</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Status quo der Lagerung ausgedienter Brennelemente aus stillgelegten / rückgebauten deutschen Forschungsreaktoren und Strategie (Lösungsansatz) zu deren künftigen Behandlung / Lagerung		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2009 bis 31.09.2011	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.09.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 124.793,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dipl.-Ing. Tholen	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Ausgediente Brennelemente aus deutschen Forschungsreaktoren werden nach bisheriger Regelung/Vereinbarung entweder in die USA oder andere Länder zwecks Verbleib bzw. Wiederaufarbeitung verbracht oder sie werden für einen auf maximal 40 Jahre begrenzten Zeitraum in CASTOR-Behältern zwischengelagert. Für die in Deutschland zu entsorgenden Forschungsreaktorbrennelemente (FR-BE) gibt es derzeit keine über den Zeitraum der begrenzten Zwischenlagerung hinausgehenden Planungen.

Gesamtziel dieses Vorhabens ist es, für die Gesamtheit der in Deutschland zu entsorgenden ausgedienten Forschungsreaktorbrennelemente (FR-BE) eine umfassende Beschreibung des derzeitigen Status quo der Lagerung bzw. Behandlung dieser Brennelemente zu erstellen und darauf aufbauend einen Lösungsansatz für deren künftige Behandlung/Lagerung zu entwickeln, der über den auf 40 Jahren begrenzten Zeitraum der Zwischenlagerung hinausgeht.

Für die in Deutschland zu entsorgenden FR-BE erfolgt eine aktuelle Bestandsaufnahme und eine Beschreibung der Datenbasis zu den FR-BE hinsichtlich der Eigenschaften für eine endgültige Entsorgung. Im Anschluss daran werden Untersuchungen zur Beurteilung der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen an CASTOR-Behältern für die FR-BE Entsorgung durchgeführt. Im nächsten Schritt werden Lösungsansätze und Technische Konzepte für eine Entsorgung der FR-BE entwickelt. Das Vorhaben schließt mit einer Zusammenfassung und mit Empfehlungen für Handlungsoptionen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Aktuelle Bestandsaufnahme und zusammenfassende Beschreibung der in Deutschland zu entsorgenden FR-BE
- AP2: Beschreibung der Datenbasis zu den FR-BE hinsichtlich der Eigenschaften für eine endgültige Entsorgung
- AP3: Untersuchungen zur Beurteilung der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen an CASTOR-Behältern für FR-BE Entsorgung
- AP4: Lösungsansätze und Technische Konzepte für eine Entsorgung der FR-BE
- AP5: Zusammenfassung und Empfehlung



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

Es wurde mit der Bearbeitung des AP1 „Aktuelle Bestandsaufnahme und zusammenfassende Beschreibung der in Deutschland zu entsorgenden FR-BE“ begonnen. Im AP1 erfolgt eine aktualisierte Bestandsaufnahme und eine zusammenfassende Beschreibung der in Deutschland zu entsorgenden FR-BE. Der derzeit verfügbare Stand zum Abfallmengengerüst wird aktualisiert und ggf. ergänzt. Gleiches gilt für die Charakterisierung der Abfälle hinsichtlich der chemischen, radiologischen und thermischen Eigenschaften und das Inventar (Gesamtaktivitäten, Massen, Volumina) der FR-BE.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Die Bearbeitung des AP1 wird fortgesetzt.

Im AP2 erfolgt eine ausführliche Beschreibung der Datenbasis zu den FR-BE hinsichtlich der Eigenschaften für eine Entsorgung. Schwerpunkte dabei sind Angaben zu Aktivitäten relevanter Nuklide, zur Kritikalitätssicherheit und hydrolytischen Beständigkeit der FR-BE und Radionuklidfreisetzung aus den FR-BE. Weiterhin erfolgt eine ausführliche Beschreibung der CASTOR-Behälter hinsichtlich Handhabbarkeit, mechanischer Eigenschaften und Integrität, d. h. der Dichtheit, auch unter Endlagerungsbedingungen. In diesem Zusammenhang erfolgt eine systematische Zusammenstellung der Ergebnisse früherer Forschungsarbeiten.

Im AP3 werden Untersuchungen zur Beurteilung der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen an CASTOR-Behälter mit FR-BE angestellt im Hinblick auf deren Verwendung zur Endlagerung von FR-BE. Dies erfolgt unter Berücksichtigung der relevanten sicherheitstechnischen Anforderungen Unterkritikalität, Dosisleistung, Integrität, Temperatur und Gasbildung.

Auf Basis der in den AP1 bis AP3 ermittelten Daten werden im AP4 Lösungsansätze und technische Konzepte für eine Entsorgung der FR-BE erstellt. In diesem Zusammenhang erfolgen Untersuchungen zur Endlagerung von FR-BE im Wirtsgestein Salz und Ton. Auf dieser Basis werden Lösungsansätze und technische Konzepte zur Integration dieser Abfallart in bereits bestehende Endlagerkonzeptionen beschrieben und es wird die Betriebs- und Langzeitsicherheit bewertet.

Abschließend werden im AP5 die Ergebnisse der Studie zusammengefasst. Dies beinhaltet insbesondere die Identifizierung gegebenenfalls notwendiger Untersuchungen zu sicherheitstechnisch relevanten Themen und die Formulierung von Empfehlungen für konkrete Konzept- und Planungsschritte.

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

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8689</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> TENORM-Sanierung im Spannungsfeld zwischen Experteneinschätzungen und Alltagswahrnehmung - TESSA		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2009 bis 30.09.2011	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 253.400,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Riebe	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Bei der Sanierung radioaktiver Altlasten entstehen über den technischen Maßnahmenbedarf hinaus Anforderungen, den Ängsten und Sorgen der betroffenen Menschen adäquat zu begegnen, da diese zu erheblichen Komplikationen im Sanierungsverlauf führen können. Im Rahmen einer qualitativen Studie soll an zwei Standorten mit radioaktiven Altlasten untersucht werden, welches Verständnis von Sicherheit und Risiko die betroffenen Anwohner sowie die verschiedenen Expertenkulturen haben und wie sich diese auf die Durchführung von Sicherheitsmaßnahmen auswirken. Ziel ist es, Indikatoren für die Bewertung von Sicherheitsmaßnahmen zu entwickeln, die neben den naturwissenschaftlich-technischen Faktoren auch die sozialen Dimensionen von Risiko und Sicherheit berücksichtigen.

Durch leitfaden-gestützte Interviews werden interdisziplinär von strahlenschützerischer und soziologischer Seite die handlungsleitenden Vorstellungen und Grundannahmen der involvierten Akteure herausgearbeitet. Die beiden untersuchten Standorte in Hannover und Sachsen unterscheiden sich dabei vor allem durch die Vertrautheit im Umgang mit TENORM-Rückständen: In Hannover wurden 2008 überraschend radioaktive Rückstände in einem Wohngebiet entdeckt und Bürger unvermutet mit dieser Problematik konfrontiert. Im sächsischen Erzgebirge dagegen leben die Menschen bereits seit 1946 mit dem Abbau von Uran und den dadurch entstehenden potentiellen Gefährdungen konfrontiert sind.

Das Forschungsvorhaben versteht sich als Beitrag zur interdisziplinären Erforschung verschiedenartiger Risikoabschätzungen und –bewertungen angesichts radioaktiver Altlasten im Alltag. Die Ergebnisse sollen zu einem Leitfaden zur Risikokommunikation für Strahlenschutz- und Sanierungsexperten sowie kommunalen Entscheidungsträgern gebündelt werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

- AP1: Literaturanalyse der Strahlenschutz-Regelwerke und Quellentexte
- AP2: Literaturanalyse der sozialwissenschaftlichen Risikoforschung und Medienberichte
- AP3: Erstellen des Interviewleitfadens
- AP4: Durchführung der explorativen Interviews
- AP5: Durchführung der Interviews mit Anwohnern
- AP6: Durchführung der Interviews mit Experten
- AP7: Auswertung der Interviews und Dokumentation der Ergebnisse
- AP8: Erstellung eines integrativen Leitfadens zur Risikokommunikation für Sanierungs- und Strahlenschutzexperten.

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

- AP1: Mit der Analyse der strahlenschutzrechtlichen Regelwerke und radioökologischer Quellentexte wurde begonnen. Weitere Regelwerke, die für TENORM-Sanierungen Bedeutung haben, wie die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), wurden mit erfasst.
- AP2: Mit der Analyse der sozialwissenschaftlichen Veröffentlichungen sowie der Medienberichten zu TENORM-Sanierungen wurde begonnen.
- AP3: Aus den ersten Analysen der wissenschaftlichen Literatur und der Medienberichte wurden Probe-Interviewleitfäden jeweils für die Anwohner und die Experten entwickelt. Die noch nicht erfolgte Abstimmung zwischen unterschiedlichen Regelwerken, wie der BBodSchV und der Strahlenschutzverordnung, die Bedeutungsveränderung von Fachvokabular zwischen den unterschiedlichen Akteuren und die Risikoeinschätzung der Anwohner über die gesundheitliche Gefährdung hinaus wurden als erste Konfliktbereiche erkannt und als Themenfelder in den Probe-Interviewleitfäden aufgenommen.
- AP4: Der Interviewleitfaden, bzw. die unterschiedlichen Interviewleitfäden für die Anwohner und Experten, wurden mittels erster explorativer Interviews auf ihre Funktionalität überprüft. Die Gesprächsbereitschaft der Probe-Interview-Partner war mittelmäßig bis sehr gut.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Weitere Literatur- und Medienanalyse
- Durchführung weiterer explorativer Interviews zur Überprüfung der Interviewleitfäden für Experten und Anwohner
- Beginn der Durchführung von Interviews mit Anwohnern
- Beginn der Durchführung von Interviews mit Experten.

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

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 8699</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Innovative Lichtbogenverfahren für die Stilllegung und den Rückbau kerntechnischer Anlagen - Hot-Wire-Plasmaschneiden und Lichtbogen-Sauerstoff-Impulsschneiden (Inno-Cut)		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2009 bis 30.09.2012	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.10.2009 bis 31.12.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 978.389,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Bach	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das Forschungsvorhaben hat zum Ziel, zwei neue, effektive und innovative Lichtbogenschneidverfahren für die Anwendung im Rückbau kerntechnischer Anlagen zu untersuchen und zu qualifizieren, mit denen sich anspruchsvolle Strukturen und große Materialstärken sowohl an Atmosphäre, als auch unter Wasser trennen lassen.

Dabei soll das Hot-Wire-Plasmaschneiden an Atmosphäre, ein erst seit ca. 3 Jahren existierendes Verfahren, für den Rückbau kerntechnischer Anlagen ertüchtigt und weiterentwickelt werden. Weitere Ziele des Forschungsvorhabens sind die Qualifizierung des Verfahrens für den Unterwassereinsatz, welche bisher noch nicht erfolgt ist sowie die Entwicklung des Hot-Wire-Bohrens, um Anschlagpunkte für zerlegte Bauteile herzustellen.

Das zweite innovative Lichtbogenschneidverfahren ist das Lichtbogen-Sauerstoff-Impulsschneiden (LSI). Diese Untersuchungen werden durchgeführt, um dieses thermische Schneidverfahren effektiv im Rückbau einsetzen zu können. Komplett neu ist hier der Einsatz des Schneidverfahrens unter Wasser. Systematische Untersuchungen zur Prozessanalyse, den Einflussparametern sowie zur Brennerentwicklung sind hier noch nicht bzw. nicht mehr vorhanden, so dass hier grundlegende Entwicklungen notwendig sind. Die Ausnutzung modernster Stromquellentechnik durch die Verwendung von z. B. gepulsten, leistungsfähigen Stromquellen zum MAG- oder Unterpulverschweißen, sowie der Aufbau eines Spezialbrenners zum LSI Schneiden erhöhen die Erfolgsmöglichkeiten. Ein innovatives Ziel ist es, hierbei ebenfalls durch die Variation des Zusatzwerkstoffes exotherme Reaktionen in der Schnittfuge definiert zu erzeugen und als Energielieferant für die Steigerung der Schnitttiefe zu nutzen.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Zur Erreichung dieses Gesamtziels ist das Vorhaben in verschiedene Teilziele untergliedert, die durch entsprechende Arbeitspakete abgedeckt werden:

Schneiden mit Hot-Wire an Atmosphäre

- Untersuchung der Wirkung von exothermen Reaktionen zur Verbesserung des Schneidverfahrens durch reaktive Pulver oder Fülldrähte.

Prozessentwicklung des Schneidens mit Hot-Wire unter Wasser

- Entwicklung des Hot-Wire-Schneidens unter Wasser und Qualifikation für den Rückbau.

Prozessentwicklung des Lochbohrens mit Hot-Wire

- Qualifikation des Hot-Wire-Verfahrens unter Nutzung des gleichen Equipments zum Bohren.

Lichtbogen-Sauerstoff-Impuls-Schneiden

- Untersuchungen zum Lichtbogen-Sauerstoff-Impulsschneiden.

Untersuchungen zur Ausnutzung exothermer Reaktionen zur Leistungssteigerung als integratives Element im Zusatzwerkstoff

- Entwicklung von exothermen Fülldrähten auf Thermit, bzw. Mg-Basis zur Leistungssteigerung beim Schneidprozess

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

Anlagenplanung und Bestellung der UP-Schweißanlage der Fa. Kjellberg Finsterwalde, welche die Basis für die Entwicklung der LSI-Schneidanlage bildet. Die Lieferung der Anlage und die Inbetriebnahme erfolgt im Jahr 2010 in der KW 5.

Anlagenplanung und Bestellung der ESAB-Führungsmaschine, an der die Schneidversuche durchgeführt werden. Die Lieferung, der Aufbau und die Inbetriebnahme der Führungsmaschine erfolgt in der KW 12 im Jahr 2010, da für die Inbetriebnahme der Führungsanlage zunächst die für das Jahr 2010 geplante Hot-Wire-Schneidanlage beschafft werden muss.

Planung und Schaffung der Peripherie-Einrichtungen für die Schneidanlagen, wie z. B. Gasversorgung, Stromanschlüsse und Absaugkanäle.

Erste Vorbereitungen zur Herstellung von Fülldrähten für die Schneidversuche mit Hot-Wire wurden vorgenommen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Hot-Wire-Schneiden an Atmosphäre

- Kombination mit reinem Pulver
- Fülldrahtherstellung
- Kombination mit Fülldraht

Hot-Wire-Schneiden unter Wasser

- Prozessentwicklung
- Konstruktion und Aufbau des Werkzeuges und Versuchsstandes

LSI Schneiden

- Brennerentwicklung (Weiterführung)
- Aufbau Versuchsstand

Prozessanalyse

- Stromspannungsanalysen

### **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 <span style="float: right;">📖 44</span>  |
| <b>Brenk Systemplanung GmbH, Heider-Hof-Weg 23, 52080 Aachen</b>   |  |
| 02 S 8619  | EDV-Programm zur Unterstützung und Dokumentation der Gebäudefreigabe kerntechnischer Anlagen (PUG) <span style="float: right;">📖 76</span>   |
| <b>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin</b>                     |  |
| 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) <span style="float: right;">📖 70</span> |
| <b>DBE Technology GmbH, Eschenstr. 55, 31224 Peine</b>   |  |
| 02 S 8679  | Status quo der Lagerung ausgedienter Brennelemente aus stillgelegten / rückgebauten deutschen Forschungsreaktoren und Strategie (Lösungsansatz) zu deren künftigen Behandlung / Lagerung <span style="float: right;">📖 88</span>   |
| <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> <span style="float: right;">📖 38</span>  |
| <b>Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena</b>  |  |
| 02 S 8517  | Uranaufnahme <span style="float: right;">📖 58</span>   |
| 02 S 8528  | Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließende Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHYTOREST) <span style="float: right;">📖 60</span>                         |
| <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 <span style="float: right;">📖 68</span>   |
| <b>GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Planckstraße 1, 64291 Darmstadt</b>                                |  |
| 02 S 8355  | Molekulare und zelluläre Wirkung dicht ionisierender Strahlen - <i>Strahlenforschung</i> <span style="float: right;">📖 34</span>   |
| 02 S 8497  | Induktion und Transmission von genetischen Schäden nach Hoch-LET Bestrahlung: In vivo und in vitro Untersuchungen - <i>Strahlenforschung</i> <span style="float: right;">📖 54</span>   |
| <b>HERRENKNECHT AG, Schlehenweg 2, 77963 Schwanau</b>  |  |
| 02 S 8649  | Verbundprojekt: Innovativer Abbruch massiger Stahlbetonstrukturen (INAS) <span style="float: right;">📖 82</span>   |

<b>Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe</b>
--

- |           |   |    |
|-----------|---|----|
| 02 S 8477 | Regulation der Nicht-homogenen Endverknüpfung durch post-translationelle Modifikation<br><i>- Strahlenforschung</i> | 50 |
| 02 S 8548 | Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie                            | 64 |
| 02 S 8608 | ASTU Automatisierte Seilsägetechnologie für Unterwasserdemontage  | 74 |
| 02 S 8659 | Verbundprojekt: Innovativer Abbruch massiger Stahlbetonstrukturen (INAS)  | 84 |

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

- |           |  |    |
|-----------|--|----|
| 02 S 8437 | Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen  | 42 |
| 02 S 8487 | Konstruktion, Herstellung, Beschichtung, Prüfung und Handhabung langzeitstabiler Gebinde zur sicheren Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen                | 52 |
| 02 S 8629 | Prozessentwicklung zur trockenen Bearbeitung von metallischen und mineralischen Strukturen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (ProBeSt)                                  | 78 |
| 02 S 8689 | TENORM-Sanierung im Spannungsfeld zwischen Experteneinschätzungen und Alltagswahrnehmung - TESSA   | 90 |
| 02 S 8699 | Innovative Lichtbogenverfahren für die Stilllegung und den Rückbau kerntechnischer Anlagen - Hot-Wire-Plasmaschneiden und Lichtbogen-Sauerstoff-Impulsschneiden (Inno-Cut) | 92 |

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

- |           |   |    |
|-----------|---|----|
| 02 S 8457 | Untersuchung von epigenetischen Effekten nach Bestrahlung menschlicher Zellen<br><i>- Strahlenforschung</i> | 46 |
|-----------|---|----|

<b>SAT Kerntechnik GmbH, Vangionenstr. 15, 67547 Worms</b>
--

- |           |   |    |
|-----------|---|----|
| 02 S 8639 | Neue Verfahrenstechnik zur Dekontamination und Probenahme in kontaminierten Rohrleitungen mittels Vibrationstechnik | 80 |
|-----------|---|----|

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

- |           |   |    |
|-----------|---|----|
| 02 S 8335 | Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung<br><i>- Strahlenforschung</i> | 32 |
|-----------|---|----|

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

- |           |   |    |
|-----------|---|----|
| 02 S 8538 | Verbundprojekt: Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließender Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHYTOREST) | 62 |
| 02 S 8558 | Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie  | 66 |



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

- |                  |  |      |
|------------------|--|------|
| <b>02 S 8376</b> | Bestimmung von Endlager-relevanten, langlebigen Radionukliden mittels radiometrischer und spezieller massenspektrometrischer Verfahren | 📖 36 |
| <b>02 S 8507</b> | Verfahren zur selektiven Tritium-Extraktion aus wässrigen Abfalllösungen und langzeitstabilen Bindung auf einem Träger                 | 📖 56 |
| <b>02 S 8669</b> | Nutzung von Bremsstrahlungsinformationen für die zerstörungsfreie Charakterisierung radioaktiver Abfälle                               | 📖 86 |

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

- |                  |  |      |
|------------------|--|------|
| <b>02 S 8467</b> | Regulationsmechanismen eukaryotischer DNA Replikation nach Bestrahlung<br><i>- Strahlenforschung</i> | 📖 48 |
|------------------|--|------|

<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> | 📖 40 |
|------------------|---|------|

<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) | 📖 72 |
|------------------|---|------|