

**Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft**

**PTE-S Nr. 18**

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

**Berichtszeitraum: 01. Januar - 30. Juni 2009**

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

**Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
September 2009**



## **PTE-S Berichte**

Der vorliegende Halbjahresbericht unterrichtet die Beteiligten an den Stilllegungsarbeiten, die aus dem BMBF-Titel „Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Versuchs- und Demonstrationsanlagen“ finanziert werden, weiter die im Rahmen des Förderkonzepts „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“ FuE-Arbeiten durchführenden Forschungsstellen, sowie zuständige Behörden.

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



# Vorwort

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

Dieser Auftrag umfasst die Förderkonzepte „Forschungsförderung zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in tiefen geologischen Formationen“ und „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“. Im Rahmen dieses Auftrages betreut der Projektträger PTKA-WTE u. a. für BMBF, Referat 713, die FuE-Vorhaben zu Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen.

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

Der Bericht ist folgendermaßen aufgebaut:

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

- die Projekte MERLIN und AVR am Standort Jülich
- die Projekte des HDB, KNK, MZFR und WAK am Standort Karlsruhe
- die Restabwicklung des THTR 300
- Projekt MAREN bei GKSS.

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

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

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

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

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

Da Referat 713 eine koordinierende Zuständigkeit für Strahlenforschung übertragen bekam, werden seit 2002 auch **Strahlenforschungsvorhaben** gefördert. Diese sind ebenfalls in Teil 2 aufgeführt.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Stilllegungsprojekte des BMBF .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 FZ Jülich.....</b>	<b>1</b>
Merlin.....	2
<b>1.2 AVR.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 FZ Karlsruhe.....</b>	<b>9</b>
HDB .....	10
KNK .....	12
MZFR.....	14
<b>1.4 WAK .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 THTR 300 .....</b>	<b>21</b>
<b>1.6 Projekt MAREN bei GKSS .....</b>	<b>25</b>
<b>2 FuE-Vorhaben „Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen“ .....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 Fördervorhaben .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2 Formalisierte Zwischenberichte .....</b>	<b>31</b>
<b>2.3 Ausführende Forschungsstellen .....</b>	<b>79</b>





# **1 Stilllegungsprojekte des BMBF**

## **1.1 FZ Jülich**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Jülich GmbH, Postfach 11 60, 52412 Jülich	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung und Abbau des Forschungsreaktors FRJ-1 (MERLIN)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1996 bis 2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2009 bis 30.06.2009
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 30,7 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 sind zurzeit die Arbeiten im Gange, die den Rückbau und die Entsorgung dieser Gebäude zum Ziel haben. Falls keine unerwarteten Ereignisse auftreten, soll das Gesamtprojekt „Rückbau FRJ-1 (MERLIN)“ Ende 2009 abgeschlossen werden.

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Mit der Bewilligung der Förderungsmittel des Bundes konnten die Vorbereitungsmaßnahmen für den Rückbau der Nebengebäude des FRJ-1 im Wesentlichen abgeschlossen werden. Bei den Nebengebäuden handelt es sich um Betriebs-, Hygiene- und Versorgungsgebäude, Wasseraufbereitungsgebäude sowie das Gasflaschenlager des FRJ-1 (MERLIN).

Zunächst wurden im Berichtszeitraum die erforderlichen Kontrollmessungen des Gutachters TÜV abgeschlossen.

In der zweiten Aprilhälfte wurde dann vom Forschungszentrum Jülich bei der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde die uneingeschränkte Freigabe zur Wieder- und Weiterverwendung nach § 29 Abs. 2 StrlSchV mit anschließender Entlassung aus dem Regelungsbereich des AtG beantragt. Im Zuge der Prüfung dieses Antrages wurde ersichtlich, dass eine Änderung des Antragsumfangs zur Herstellung der Zustimmungsfähigkeit erforderlich war. Anfang Juni 2009 wurde daher ein Ergänzungsantrag zum ursprünglichen Freigabeantrag an die atomrechtliche Aufsichtsbehörde übermittelt. Die für den Rückbaubeginn erforderliche Freigabe durch die Aufsichtsbehörde wurde noch im Berichtszeitraum erteilt.

Die öffentliche Ausschreibung für den Rückbau der Nebengebäude konnte im Berichtszeitraum ebenfalls abgeschlossen werden. Der Auftragnehmer steht nun fest. Aufgrund der Tatsache, dass die Abbruchtätigkeiten in einem speziell gesicherten Bereich, dem äußeren Sicherungsbereich, stattfinden, müssen die Mitarbeiter des Auftragnehmers jedoch eine Zuverlässigkeitsüberprüfung nach AtZüV vorweisen, was einige Zeit in Anspruch nahm. Mit dem Rückbau der Nebengebäude soll nunmehr im Juli 2009 begonnen werden.

Insgesamt werden beim Abbau der Nebengebäude über 8.000 t an Material anfallen. Insbesondere handelt es sich dabei um Beton, Ziegel, Mauerwerk, Stahl und Straßenaufbruch. Alle diese Materialien gilt es konventionell zu entsorgen.

### **3. Geplante Weiterarbeit**

- Konventioneller Abriss der Nebengebäude des FRJ-1
- Entsorgung aller Materialien und Rekultivierung

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

- KONTEC 2009, 15. – 17. April 2009, Dresden: Der Rückbau des Forschungsreaktors FRJ-1 (MERLIN) bis zur “Grünen Wiese” – Erfolge und Hürden beim Rückbau eines Forschungsreaktors der Megawatt - Klasse; B. Stahn, R. Printz, K. Matela, C. Zehbe, B. Stauch, I. Zander; Forschungszentrum Jülich GmbH
- Sachstandsberichte an BMBF (Bund) und MSWWF (Land)

### **5. Kosten**

Kosten bisher (von 1996 bis 2008):	30,19 Mio. €
Kosten 2009:	0,5 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Land 10 %



## 1.2 AVR

<b>Zuwendungsempfänger:</b> AVR GmbH, Wilhelm-Johnen-Straß3, 52428 Jülich	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Vollständiger Abbau der AVR-Anlage	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1987 bis 2015	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2009 bis 30.06.2009
<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 - Versuchs-kernkraftwerkes“ (7/16) gemäß § 7 Abs. 3 AtG erteilt. Der Erhalt der Genehmigung stellt einen weiteren, wichtigen Meilenstein auf dem Weg zur Grüne Wiese dar.

Innerhalb des *Verschluss-Systems 1* wurden die Arbeiten zur Öffnung der SB-Kuppel abgeschlossen. Die Demontagen der *Behälter, Kompressoren und Stahlgerüste auf der +21-m-Bühne* sind weitestgehend fertig gestellt, die Demontearbeiten an der *Gasvorreinigung* werden fortgesetzt. Mit der Trennung und Teildemontage der Abschaltstabhüllrohre im Beschi-ckungsraum wurde begonnen.

Die Errichtungsarbeiten zum Bau des *Reaktorbehälter-Zwischenlagers* begannen planmäßig.

Die Abarbeitung der Auflagen zum Erhalt der Betriebsgenehmigung für das *Abfall-Lager (Halle V)* ist erfolgt. Eine erste Einlagerung von Reststoffen aus dem Abbau des AVR - Versuchs-kernkraftwerkes ist für das 2. Halbjahr vorgesehen.

Der *Betrieb* der Restanlagen verlief im Berichtszeitraum ohne Besonderheiten.

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.
- Abschluss der Demontearbeiten der Komponenten der +21-m-Bühne, der Abschaltstabhüllrohre und des Teil 1 und 2 der Gasvorreinigung.
- Demontage der +38-m-Bühne und Teildemontage +34-m-Bühne.

### 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 Berichtszeitraum (Januar-Juni 2009):	9,0 Mio. €
Zukünftige Kosten:	<u>119,4 Mio. €</u>
	443,7 Mio. €

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





### **1.3 FZ Karlsruhe**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung von Teilanlagen der Hauptabteilung Dekontaminationsbetriebe (HDB)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1994 bis 2030	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2009 bis 30.06.2009
<b>Gesamtkosten des Vorhabens:</b> 113,0 Mio. €	<b>Projektleiter:</b> N.N.

### 1. Kurzbeschreibung des Vorhabens

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

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

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

Gegenwärtig werden von der HDB folgende Anlagen betrieben:

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

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

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

- 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.
- Abwasser-Sammelstation Y561 C1 (Bau 561)  
Nach der mängelfreien Abnahme der für die Demontage der verfahrens- und MSRE-technischen Komponenten der Abwasser-Sammelstation notwendigen Sicherheitseinrichtungen wurde im Juni mit den Demontearbeiten begonnen.

## 3. Geplante Weiterarbeit

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

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

Keine.

## 5. Kosten

Kosten bisher (von 1994 bis 12/2008):	12,08 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	0,01 Mio. €
Zukünftige Kosten:	100,91 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Land 10 %

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung der Kompakten Natriumgekühlten Kernreaktoranlage (KNK)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1992 bis 2013	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2009 bis 30.06.2009
<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 übertrugen. 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, Blendenverstellereinrichtung, 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 u. Abriss der Gebäude bis zur „grünen Wiese“ (10. SG)

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

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Vor dem Beginn der Maßnahmen 2 (Demontage Wärmeisolierung, Abbau und Entsorgung Primärabschirmung) und 3 (Rückbau Biol. Schild) der 9. SG sind umfangreiche Veränderungen an der Zellenstruktur der Einhausung sowie an verschiedenen Einrichtungen innerhalb der Einhausung durchzuführen.

Der Transport der aus Maßnahme 1 der 9. SG stammenden, gewaschenen Komponenten und Teile aus dem Pufferlager zur HDB findet durch die beschränkte Anzahl der vorhandenen Umlauf-Container sowie die Umbaumaßnahmen innerhalb der Einhausung sequentiell zu den Vorbereitungen für Maßnahme 2 statt. Gegenwärtig befinden sich noch zwei Waschkörbe mit Reaktortankteilen im Pufferlager.

Die Umbauarbeiten zur Maßnahme 2 in der Anlage konzentrierten sich auf die Hilfsmittel- und Hilfseinrichtungen innerhalb der Einhausung. Nach Herstellung der Dachöffnung in der Einhausung (Ende 2008) und Demontage der nicht mehr benötigten Einrichtungen im ersten Halbjahr 2009 konnte mit den Arbeiten an der Reaktorschachtabdeckung, am Container-Beladekran, am Hubwerk des Zellenkrans, an der Adapterplatte sowie mit der Montage der horizontalen Energie-

ketten begonnen werden. Derzeit steht die Inbetriebsetzung des neuen Container-Beladekrans und der Reaktorschachtabdeckung an.

Maßabweichungen der Endlagercontainer verzögerten die Fertigungsfreigabe für die Containerschleuse auf Ende April. Die Werksabnahme ist für Ende August, die Montage in der KNK im November geplant.

Als erste Neueinrichtung wurde im März die neue Umluftfilteranlage für den Staubaustrag aus der Reaktorkaverne während des Abbaus der Schamottesteine und der Maßnahme 3 in Betrieb genommen.

Seit Januar fanden Schulungen und praktische Übungen für das Bedienpersonal der neuen Demontageeinrichtungen statt (z. B. WTS mit zugehörigem Manipulator, HWZ, BWZ).

Das Werkzeugträgersystem (WTS) für den Ausbau der Wärmeisolierung wurde fertig gestellt, in den Teststand integriert und der Mock-Up um den Teil Wärmeisolierung erweitert. Da dieser Vorgang terminkritisch ist, wurde die Erprobung des Hebewerkzeugs der Erprobung „Ausbau Primärabschirmung“ (neuer Termin Ende 2009/Anfang 2010) vorgezogen.

Nach grundlegenden technischen Schwierigkeiten bei der Funktionsprüfung wurde das HWZ zurück in das Herstellerwerk gebracht. Im 3. Quartal 2009 soll ein funktionsfähiges HWZ mit erfolgreich abgeschlossener Werksabnahme zur Verfügung stehen. Es wird nach Abschluss der WTS-Erprobung Ende 2009 wieder im Mock-Up installiert. Die Funktionsprüfungen und Schulungen werden wiederholt.

Das Bandsägewerkzeug (BWZ) für die Zerlegung der Primärabschirmung wurde im Herstellerwerk unter realitätsnahen Umgebungsbedingungen erfolgreich erprobt, das Bedienpersonal in die Handhabung eingewiesen und die Schulungs- und Erprobungsmaßnahmen abgeschlossen. Die sich aus der Erprobung ergebenden Nacharbeiten am BWZ werden zeitnah durch den Auftragnehmer durchgeführt.

Die Planung zur Maßnahme 3 konzentrierte sich auf den Umbau des Mock-Ups zur Erprobung des Betonrückbaus und die Erstellung der Ausschreibungsunterlagen für die Beschaffung des Abbruchbaggers.

Nach Änderungen an der Waschanlage aufgrund von Gutachterforderungen konnte das Waschen der ersten Kühlfalle erst im April abgeschlossen werden. Im Mai wurde die Primärkühlfalle angeliefert und zerlegt. Die Einzelteile dieser 2. Kühlfalle werden derzeit gewaschen.

### 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 Werkzeugträgersystem im Mockup für Abbau Biologisches Schild; Fortsetzung Planung Abbruchgerät für Abbau Biol. Schild

10. SG: (Abbau Restsysteme, Dekontamination, Abriss Gebäude): Einreichung Sicherheitsbericht

Kühlfallen: Waschen 2. Kühlfalle.

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

Keine.

### 5. Kosten

Kosten bisher (von 1992 bis 12/2008):	265,8 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	6,0 Mio. €
Zukünftige Kosten:	43,5 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Land 10 %

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe	
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Stilllegung des Mehrzweck-Forschungsreaktors (MZFR)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1985 bis 2012	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2009 bis 30.06.2009
<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 schwerwasser-gekühlter 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 D2O-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. Schilds, Dekontamination und Abriss der Gebäude.

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

## 2. Stand des Projektes und Ereignisse im Berichtszeitraum

Im 1. Halbjahr 2009 wurden zur Umrüstung auf die Erfordernisse der 8. SG folgende Arbeiten durchgeführt: Wartung/Instandhaltung an den weiter genutzten Einrichtungen der 7. SG; Trennen und Ausbauen der 12 Mauerrohre des Biologischen Schilds; Fortführung der Detailplanung/Vorprüfunterlagen (VPU)-Erstellung zur Reparatur (Lademaschinenkran) bzw. Umrüstung(Rundlauf-/Beladekran) von Krananlagen. Die Umrüstung der Krananlagen sowie die Montagen der Kranhaken im Reaktorgebäude (B 901) haben sich durch Lieferschwierigkeiten beim Krananlagenbauer und zusätzlichen Forderungen des Gutachters (Konstruktionszeichnungen, Berechnungen für Normbauteile) wesentlich verzögert. Hierdurch ist mit der für die 8. SG erforderlichen Krankonfiguration nicht vor Ende September 2009 zu rechnen. Dies führt zu Verzögerungen bei anderen Lieferanten und behindert die Umrüstungen in Bau 901 für den Rückbau des aktivierten Teils des Biol. Schilds.

Die Schulung der Rückbaumannschaft und die Erprobungen im Teststand wurden fortgeführt. An den terminkritischen Anbaugeräten des Abbaubaggers (ABB), (Universaltrenngerät (UTG) und Stahlbohrgerät (SBG)), für den Rückbau des aktivierten Teils des Biologischen Schilds wurden die Erprobungen gem. Funktionsprüfplan (FPP) fortgeführt, weiteres Verbesserungspotenzial definiert, mit der Umsetzung begonnen und Störkanten beseitigt. Der Nachweis für das vollständige Herstellen der Bohrungen im Liner (Dicke 10 mm) konnte mit Bohrkronen (105 mm Durchmesser) ohne die bei den Fräsern

eingetretenen Schäden erbracht werden. Die Prüfungen nach FPP1 und 2 konnten für das SBG bis auf offene Inhalte an der Dokumentation abgeschlossen werden.

Die FPP2 im Hänge-Stand-Gerüst (HSG) wurde fortgeführt, obwohl die Traversen für ABB, HSG und VHГ weiterhin nicht verfügbar sind. Die Gutachten zu den hierzu am 03.07.2008 eingereichten Unterlagen der Traversen für ABB und HSG lagen MZFR und AN am 30.03.2009 vollständig vor. Das Design der VHГ-Traverse konnte aber erst nach Vorliegen der Abmessungen aller Vorhaltegestelle (Ende 04/2009) abschließend festgelegt werden. Im Teststand (Bau 905) wurden deshalb alternative Transportmittel eingesetzt, die jedoch im Kontrollbereich nicht verwendbar sind.

Um Stillstandszeiten bei der vorgehaltenen Rückbaumannschaft zu vermeiden, wurden Rückbautätigkeiten im Reaktorgebäude den Erprobungen ausstehender Komponenten vorgezogen.

Das Unterarmzwischenstück des Manipulators (Reichweitenverlängerung) wurde angeliefert und mit dem Einbau begonnen; das redundante Master-Slave-Manipulator-System zur soll Ende Juli 09 angeliefert werden.

Die Vergabe der Betonbefülleinrichtung konnte aufgrund der erneut erforderlichen Ausschreibung erst im 4. Quartal 2008 erfolgen. Die VPU wurden erstellt. Zur schnelleren Abwicklung des Funktionsprüf-/Erprobungsprogramms (Anfang 4. Quartal) wurde der Teststand in Abstimmung mit dem Auftragnehmer auf das Gelände der Uni ausgelagert.

Zu den für den Umbau des Systems „Radioaktives Abwasser“ erforderlichen VPU liegt die positive Stellungnahme des Gutachters vor. Die Fertigungsphase wurde abgeschlossen. Behinderungen traten durch die divergente Bestandsdokumentation der Bausubstanz auf. Der Umbau soll bis Ende September 2009 abgeschlossen sein. Die planerischen Randbedingungen zur Erstellung der Leistungsbeschreibung für die schlüsselfertige Errichtung der Halle zur Behandlung tritiumbelasteter Betonstrukturen aus dem Gebäudeabbruch wurden präzisiert.

Der teilweise Rückbau des Fortluftkamins von 99,5 m auf ca. 18 m wurde vergeben, die Planungsleistungen abgeschlossen. Die fehlende Stellungnahme des Gutachters führt zu Verzögerungen. Die Planungsleistungen für die Entkopplung der Infrastruktur zwischen den einzelnen MZFR-Gebäuden durch Ersatzmaßnahmen (Lüftung, E-Versorgung) wurden fortgeführt. Ein erster Entwurf der Leistungsbeschreibung wurde erarbeitet.

### **3. Geplante Weiterarbeit**

8. SG (Rückbau aktivierter Teil des Biol. Schildes, Dekontamination. u. Abriss Gebäude): Teststand für Zerlegung Biolog. Schild - Planung/Einbau Transport- und Verpackungs-Einrichtungen 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 12/2008):	268,8 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	4,8 Mio. €
Zukünftige Kosten:	37,8 Mio. €
Geldgeber:	Bund 100 %





## **1.4 WAK**

<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> 01.01.2009 bis 30.06.2009
<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 Fernhantierung, Außerbetriebnahme und Abbau bereits stillgelegter Anlagenteile im Prozessgebäude: Dieser Schritt ist abgeschlossen.
3. Stufenweiser Rückbau aller Einrichtungen im Prozessgebäude unabhängig von der HAWC-Lagerung und HAWC-Entsorgung: Alle Anlagenteile sind ausgebaut. Die Dekontamination der Gebäude-Innenstruktur läuft.
4. Deregulierung nach Verglasungsende: Durch die Außerbetriebnahme von Anlagenteilen und die Anpassung des Betriebshandbuches sollen die betrieblichen Aktivitäten auf das Niveau eines reinen Rückbauprojektes reduziert und die Restbetriebskosten weiter minimiert werden.
5. Stufenweiser Rückbau der HAWC-Lagergebäude LAVA/HWL und der VEK: Dies erfolgt in 10 Rückbaubereichen (RB), die jeweils einzeln zu genehmigen sind. Die Errichtung des HWL-Anbaus Süd (RB 5.1) sowie die fernhantierte Demontage der MAW-Behälter mit HWL, Raum 6 (RB 5.2) sind genehmigt.
6. Konventioneller Abriss der Gebäude und Rekultivierung des Geländes.

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

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

Für die *Verglasungsanlage Karlsruhe* (VEK) wurde die 2. Teilbetriebsgenehmigung (2. TBG) als letzte Genehmigung für den heißen Betrieb am 24.02.2009 erteilt. Zeitgleich erfolgte die Erteilung der *Zwischenlagergeneh-*

machung für die Glaskokillen in Castorbehältern für das Zwischenlager Nord der EWN (ZLN). Alle gemäß Ablaufplan vorgesehenen Maßnahmen wurden umgesetzt. Im Rahmen des 2. Kalten Verbundbetriebes (Simulatbetrieb) wurden insgesamt 7 Kokillen produziert.

Im *Prozessgebäude (Schritt 3)* wurden die geplanten Arbeiten (Demontagen der Edelstahlauskleidungen, Bodenwannen und Beseitigung von lokaler Kontamination in Baustrukturen) durchgeführt.

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

Im ersten Halbjahr 2009 wurden aus dem Prozessgebäude 53 Mg Demontagemassen (Stahlbau, Beton und Kabel) ausgebracht und ca. 61 m<sup>2</sup> Oberflächen dekontaminiert.

Für die Maßnahmen zur *Deregulierung nach Verglasungsende (Schritt 4)* liegt der Gutachtensentwurf vom TÜV vor. Die Arbeiten zur Erledigung der Gutachtensbedingungen und zur Erstellung des Konzeptes „Stilllegungshandbuch (SHB)“ wurden begonnen.

Für die Durchführung der manuellen Arbeiten beim Rückbau der MAW-Behälter HWL (*HAWC-Anlagen Schritt 5*) wurden zusätzliche Abschirmmaßnahmen auf der bereits errichteten Abschirmwand durchgeführt. Außerdem wurde ein Einbau von Betonstützen im ersten Wanddurchbruch notwendig. Diese zusätzlichen Tätigkeiten, zusammen mit unvorhergesehenen Dekontaminationsarbeiten, haben zu einer Terminverzögerung geführt, die jedoch keine Auswirkungen auf den Gesamtterminplan hat. Das Genehmigungsverfahren für die FH-Demontage der HAWC-Behälter in HWL ist vom Ergebnis der im März 2009 durchgeführten Feststoffprobenahme aus dem HAWC-Lagerbehälter 81.21 abhängig. Das Ergebnis wird im dritten Quartal erwartet.

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

### 3. Geplante Weiterarbeit

#### WAK-Rückbau:

**VEK:** Durchführung des nuklearen Probebetriebes mit Verglasung verdünnter HAW-Lösung und des Dosisleistungsmessprogramm, Beginn nuklearer routinemäßiger Verglasungsbetrieb.

**Schritt 3:** Fortführen der Demontearbeiten in weiteren Prozesszellen sowie der rückbaubegleitenden Kabeldemontage und Durchführung gezielter radiologischer Untersuchungen.

**Schritt 4:** Vorlage des Gutachtens zur Deregulierung und Erteilung der Genehmigung. Fortsetzung der Arbeiten am Konzept für ein Stilllegungshandbuch (SHB) mit reduziertem Umfang an Regelungen nach Abschluss des VEK-Betriebes und Rückbaus.

**Schritt 5:** Fortsetzung der Begutachtung zur fernhantierten Demontage der HAWC-Behälter sowie zur fernhantierten Demontage der LAVA-Zellen L3, L4 und L5. • Überarbeitung der Genehmigungsunterlagen für den „Rückbau der VEK“.

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

J. Fleisch, M. Weishaupt, W. Pfeifer / WAK GmbH; G. Roth, W. Grünwald / 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. Grünwald / Forschungszentrum Karlsruhe GmbH: „Verglasungsanlage VEK – Nukleare Inbetriebsetzung und Heißer Verglasungsbetrieb“, Jahrestagung Kerntechnik, 12. - 14. Mai, 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 12/2008):	1.472,4 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum (01 bis 06/2009):	39,8 Mio. €
Zukünftige Kosten (PKS 2007):	1.118,8 Mio. €
Geldgeber:	Bund, Land, Industrie



**1.5 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 2008</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 nachgeschaltetem Wasserdampfkreislauf und trockener Rückkühlung. Zum 1. September 1989 wurde der Beschluss zur Stilllegung der Anlage und Überführung in den sicheren Einschluss gefasst. In der Zeit von September 1989 bis September 1997 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 Elektroanlagegebäude, die Notstromdieselanlage, die Trafoanlagen, die Zellenkühltürme, die über- und unterirdischen Verbindungen u. s. w. wurden aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen.

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

Es bestehen keine Anforderungen mehr auf Grund der nuklearen Sicherheit, des Reaktorbetriebes oder des Umganges mit Kernbrennstoffen. Alle während des Leistungsversuchsbetriebes druck- und aktivitätsführenden Anlagenteile sind drucklos, kalt und dauerhaft verschlossen, so dass auf Grund von betriebs- oder verfahrenstechnischen Bedingungen praktisch keine Möglichkeit mehr

für eine Freisetzung radioaktiver Stoffe besteht. Da der Reaktorkern leer ist und die Brennelemente vom Standort entfernt sind, ist insbesondere Kritikalität ausgeschlossen. Die Rückhaltung radioaktiver Stoffe geschieht weitgehend passiv als sicherer Einschluss. Auch sind keine Sofortmaßnahmen mehr erforderlich, um die Rückhaltung radioaktiver Stoffe in der Anlage sicherzustellen.

Die Dauer des sicheren Einschlusses ist zunächst für 30 Jahre vorgesehen. 10 Jahre vorher ist die Entscheidung zu fällen, ob der sichere Einschluss fortgesetzt wird oder die sicher eingeschlossene Anlage THTR 300 endgültig beseitigt werden soll.

Im Erhaltungsbetrieb werden Einrichtungen betrieben, die der Erhaltung und Überwachung des sicheren Einschlusses dienen. Er umfasst ständige und nichtständige Tätigkeiten und Maßnahmen.

Ständige Tätigkeiten oder Maßnahmen sind:

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

Nichtständige Tätigkeiten oder Maßnahmen sind:

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

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

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

Das Berichtsjahr 2008 ist für die sicher eingeschlossene Anlage THTR 300:

- das 19. Jahr nach der Abschaltung
- das 13. Jahr nach der Beendigung der Entladung des Reaktorkerns
- das 11. Jahr des sicheren Einschlusses.

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

Im Berichtsjahr 2007 war kein meldepflichtiges Ereignis zu verzeichnen.

2008 fiel in der sicher eingeschlossenen Anlage kein zu entsorgendes Abwasser an und somit trat auch keine Aktivitätsabgabe in die Umgebung über diesen Pfad ein.

Die Aktivitätsableitungen mit der Fortluft sind im Vergleich mit dem Vorjahr praktisch konstant. Die genehmigten Ableitungsgrenzwerte wurden weit unterschritten.

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

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

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

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

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

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

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

### **3. Geplante Weiterarbeit**

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

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

Keine.

### **5. Kosten**

Restmittel für die Projektlaufzeit:	48 Mio. € <sup>1)</sup>
Geldgeber:	Bund, Land NRW, Gesellschafter der HKG

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



## **1.6 Projekt MAREN bei GKSS**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> 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> 01.01.2009 bis 30.06.2009
<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 und der Landessammelstelle für die Zwischenlagerung radioaktiver Abfälle. In der Zuständigkeit von GKSS befinden sich außerdem Teile des stillgelegten Forschungsreaktors FRG-2 sowie die in Zwischenlagerung befindlichen radioaktiven Komponenten des stillgelegten Kernenergieforschungsschiffes NS Otto Hahn (OH).

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

Die zu MAREN-1 zählenden Arbeitspakete gliedern sich in die 3 Gruppen:

- I. Schwach- und mittelradioaktive Reststoffe und Abfälle
  - OH feste LAW/MAW (221, 222)
  - FRG feste LAW/MAW (231, 232)
  - FRG flüssige Abfälle (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)  
Analysen und ggf. Trocknung der bereits konditionierten Gebinde bei FZK/HDB sowie zugehörige Sachverständigentätigkeit, Dokumentation und Vorbereitung Rückführung abgefertigter Gebinde. Einleitende Arbeiten Mengenerhöhung, Datenzusammenstellung, Koordinierung.
- Entsorgung FRG-Brennelemente  
Vorbereitende Arbeiten für den Transport 2010 in die USA.
- FRG-MAW Reflektoren, Steuerstäbe (232)  
Bestandsaufnahme, Charakterisierung
- Aufarbeitung bestrahlter OH-Versuchsbrennstäbe (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 FRG- und OH-Abfälle, HD-Verpressung, Durchführung der restlichen Konditionierungsarbeiten, Rückführung abgefertigter Gebinde, Datenübertragung, Dokumentation, Vorbereitung Mengenerhöhung;
- Betriebsabwässer (236): Abtransport betrieblicher Abwässer zur Konditionierung bei FZJ;
- OH-Brennstäbe (223): Vorbereitung transportrelevanter Infrastrukturen, Verpackung und Transport;
- OH-RDB (225): Gutachtertätigkeiten hinsichtlich RDB- Entnahme und Transport. Erstellung eines technischen Konzepts zum Transport und zur Konditionierung;
- Entsorgung bestrahlter FRG-BE (235): Vorbereitung Transport 2010;
- Konditionierung MAW (232): Datenzusammenstellung, Konzept- und Informationsbearbeitung, Koordinierung;
- 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):	22,8 Mio. €
Kosten Berichtszeitraum:	1,6 Mio. €
Zukünftige Kosten:	12,4 Mio. €
Geldgeber:	Bund 90 %, Länder 10 %



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

### 2.1 Fördervorhaben

<b>02 S 7951</b>	Entsorgung von Beryllium / Berylliumoxid und Cadmium aus Forschungsreaktoren	<b>TU München</b>	📖 32
* <b>02 S 8335</b>	Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung	<b>Technische Universität Darmstadt</b>	📖 34
* <b>02 S 8355</b>	Molekulare und zelluläre Wirkung dicht ionisierender Strahlen	<b>Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Darmstadt</b>	📖 36
<b>02 S 8376</b>	Bestimmung von Endlager-relevanten, langlebigen Radionukliden mittels radiometrischer und spezieller massenspektrometrischer Verfahren	<b>TU München</b>	📖 38
* <b>02 S 8416</b>	Das Phänomen der Hyperradiosensitivität und deren Modulation durch den Radioprotektor Phosphotyrosin	<b>Eberhard-Karls-Universität Tübingen</b>	📖 40
* <b>02 S 8427</b>	Genomische Instabilität durch Doppelstrangbrüche: Bedeutung des Singlestrand annealing	<b>Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf</b>	📖 42
<b>02 S 8437</b>	Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen	<b>Leibniz Universität Hannover</b>	📖 44
<b>02 S 8447</b>	Verbundprojekt: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen	<b>BÜDIAM Diamantwerkzeuge, Eschenburg</b>	📖 46
* <b>02 S 8457</b>	Untersuchung von epigenetischen Effekten nach Bestrahlung menschlicher Zellen	<b>Ludwig-Maximilians-Universität München</b>	📖 48
* <b>02 S 8467</b>	Regulationsmechanismen eukaryotischer DNA Replikation nach Bestrahlung	<b>Universitätsklinikum Essen</b>	📖 50
* <b>02 S 8477</b>	Regulation der Nicht-homologen Endverknüpfung durch post-translationelle Modifikation	<b>Universität Karlsruhe (TH)</b>	📖 52
<b>02 S 8487</b>	Konstruktion, Herstellung, Beschichtung, Prüfung und Handhabung langzeitstabiler Gebinde zur sicheren Lagerung von schwach- und mittlradioaktiven Abfällen	<b>Leibniz Universität Hannover</b>	📖 54
* <b>02 S 8497</b>	Induktion und Transmission von genetischen Schäden nach Hoch-LET Bestrahlung: In vivo und in vitro Untersuchungen	<b>Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Darmstadt</b>	📖 56

<b>02 S 8507</b>	Verfahren zur selektiven Tritium-Extraktion aus wässrigen Abfalllösungen und langzeitstabilen Bindung auf einem Träger	<b>TU München</b>	📖 58
<b>02 S 8517</b>	Uranaufnahme	<b>Friedrich-Schiller-Universität Jena</b>	📖 60
<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>	📖 62
<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>	📖 64
<b>02 S 8548</b>	Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie	<b>Universität Karlsruhe (TH)</b>	📖 66
<b>02 S 8558</b>	Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie	<b>TU Dresden</b>	📖 68
<b>02 S 8578</b>	Strahlenschutzaspekte bei der Auswahl von Abbau- und Dekontaminationstechniken	<b>GRS Köln</b>	📖 70
<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>	📖 72
<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>	📖 74
<b>02 S 8608</b>	ASTU Automatische Seilsägetechnologie für Unterwasserdemontage	<b>Universität Karlsruhe (TH)</b>	📖 76

**\* Strahlenforschungsvorhaben**

## **2.2 Formalisierte Zwischenberichte**

<b>Zuwendungsempfänger:</b> TU München, Arcisstraße 21, 80333 München		<b>Förderkennzeichen:</b> <b>02 S 7951</b>
<b>Vorhabensbezeichnung:</b> Entsorgung von Beryllium / Berylliumoxid und Cadmium aus Forschungsreaktoren		
<b>Zuordnung zum FuE-Programm:</b> Stilllegung/Rückbau kerntechnischer Anlagen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2001 bis 30.06.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.851.182,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Dr. Lierse von Gostomski	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Geplante Arbeitsschritte sind:

1. Klare Beschreibung des Entsorgungsproblems für Be und Cd-Bauteile aus deutschen Forschungsreaktoren mit Bestandsaufnahme und Charakterisierung der in Deutschland mit Neutronen bestrahlten und zur Entsorgung anstehenden Materialmengen.
2. Bestimmung des radioaktiven Inventars, zunächst durch Abschätzungen auf Basis von Spezifikationen der Material-Hersteller und von Betreiberangaben zu Neutronen-Fluenz und –Energiespektren, anschließend mittels zerstörungsfreier und invasiver Messverfahren an realen Proben aus dem Forschungsreaktor Garching FRM.
3. Experimentelle Bestimmung der Freisetzung von Tritium aus realen Be-Proben unter den Bedingungen eines bestimmungsgemäßen Lagerbetriebs (Zwischen- und Endlager) und des Störfalles „Brand“.
4. Entwicklung geeigneter Techniken zur Rückhaltung von Tritium aus Be.
5. Quantitative Darstellung von Szenarien zur Freisetzung radioaktiver Stoffe unter gegebenen Zwischen- und Endlagerbedingungen.
6. Entwicklung eines integrierten Handhabungs- und Verpackungskonzepts für Be- und Cd-Teile und nach Möglichkeit Erprobung im heißen Betrieb (Miniaturmaßstab)
7. Validierung der Tritium-Freisetzung durch Messungen des mit allen Be-Reflektoren beladenen Behälters.
8. Ergänzende Modell-Rechnungen zum Temperaturverlauf im Behälter.
9. Durchführung von vergleichenden Löslichkeitsuntersuchungen an unbestrahltem und an bestrahltem Beryllium.



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

Die Messungen zur Validierung der Tritium-Freisetzung im beladenen Transport- und Lagerbehälter (Typ MOSAIK<sup>®</sup>) wurden fortgesetzt. Die Messungen belegen, dass die im Labor an kleinen Beryllium-Proben ermittelten Freisetzungsraten die reale Situation deutlich überschätzen und als konservativ angesehen werden können. Dies lässt sich u. a. auf die wesentlich größere spezifische Oberfläche der im Labor untersuchten Proben zurückführen.

Die Löslichkeitsexperimente zum Vergleich von bestrahltem und unbestrahltem Be (Verhalten von metallischem Beryllium in 3 ausgewählten, für die Endlagerung relevanten Salzlösungen sowie bei 3 Temperaturen) wurden abgeschlossen. Parallel zur gelösten Be-Menge wurde bei bestrahltem Be jeweils noch die freigesetzte Gesamtaktivität gemessen. Des Weiteren wurde in ausgewählten Proben Experiments nach dessen Abschluss der pH-Wert gemessen. Die Messdaten wurden abschließend ausgewertet.

Der Abschlussbericht zum Vorhaben wurde begonnen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Das Vorhaben ist abgeschlossen. Eine Weiterführung ist nicht vorgesehen. An dem mit den Beryllium-Reflektor-Elementen beladenen MOSAIK<sup>®</sup>-Behälter wird allerdings noch mindestens eine Probennahme zur Bestimmung der realen Tritium-Freisetzung durchgeführt.

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

Für die Ergebnisse zu den Langzeit-Löslichkeitsuntersuchungen ist eine Publikation angedacht.

Auf dem GDCh Wissenschaftsforum 2009 in Frankfurt wurden Ergebnisse zur Be-Löslichkeit präsentiert.

<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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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

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

Frühere in vitro-Studien in der Zellkultur hatten gezeigt, dass die DSB-Reparaturkapazität nach niedrigen Dosen Röntgenstrahlung eingeschränkt ist. In Zusammenarbeit mit der Klinik für Strahlentherapie an der Universität des Saarlandes wurde die Methode der  $\gamma$ H2AX-Immunfluoreszenzmikroskopie zur Messung einzelner DSBs im Mausmodell etabliert (1) und die Reparatur nach Niedrigdosis-Bestrahlung in vivo untersucht. Dabei zeigte sich, dass auch in vivo die Reparaturkapazität nach niedrigen Dosen in allen untersuchten Organen eingeschränkt ist und 24 Stunden nach Bestrahlung noch DSBs unrepariert verbleiben. Um zu untersuchen, ob diese DSBs auch über einen längeren Zeitraum unrepariert verbleiben (wie es in vitro der Fall ist), wurden im aktuellen Berichtszeitraum die Reparaturstudien auf mehrere Tage ausgedehnt. Dabei wurde 3 Tage nach Bestrahlung in keinem der untersuchten Organe ein erhöhtes Niveau an unreparierten DSBs gemessen. Dies deutet darauf hin, dass die DSBs entweder repariert wurden, oder die Zellen, welche irreparable DSBs besitzen, aus dem Zellverbund entfernt wurden.

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

In diesem Berichtszeitraum wurde das Einsetzen des G1/S-Checkpoints nach Bestrahlung in lebenden Zellen mittels Life-Cell-Imaging untersucht. Die Transfektion humaner Wildtyp-Fibroblasten mit einem Konstrukt, welches für den S-Phase-Marker LigI-pDsRed codiert, ermöglichte die Visualisierung des Übergangs einer Zelle von der G1- in die S-Phase. Die gleichzeitige Transfektion mit einem 53BP1-GFP-Konstrukt ermöglichte darüber hinaus die Quantifizierung der DSBs, die eine Zelle beim Eintritt in die S-Phase aufweist. Dabei zeigte sich, dass der G1/S-Checkpoint erst 5-6 h nach Bestrahlung einsetzt. Dies führt dazu, dass Zellen mit einer erhöhten Anzahl an Strahlen-induzierten DSBs in die S-Phase eintreten.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

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

Die früheren in vitro-Studien zeigten, dass das Niveau an unreparierten Brüchen erst abnahm, wenn der Zellkultur die Möglichkeit zur Proliferation gegeben wurde. Im Maus-Modell verschwanden die nach 24 Stunden unrepariert verbliebenen DSBs nach mehreren Tagen. In weiteren Studien soll versucht werden, mechanistische Ursachen für diese Diskrepanz zu finden. So wäre es z. B. möglich, dass sich oxidativer Stress während der Proliferation positiv auf die DSB-Reparatur auswirkt.

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

Nachdem mittels Life-Cell-Imaging gezeigt wurde, dass Zellen in den ersten Stunden nach Bestrahlung mit unreparierten DSBs in die S-Phase eintreten, soll in weiteren Arbeiten die Sensitivität des G1/S-Checkpoints nach längeren Zeiten untersucht werden. Weiterhin soll untersucht werden, wie sich Zellen, die mit vielen DSBs in die S-Phase eintreten, im weiteren Verlauf des Zellzyklus verhalten.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

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

<b>Zuwendungsempfänger:</b> 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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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 Diplom- und Doktorarbeiten sowie weiterer Forschungspraktikanten übernommen. Im SS09 wurde im Rahmen des Diplomstudiengangs „Biologie“ der TUD das fünfwöchige Pflichtpraktikum „Molekulare Strahlenbiologie“ durchgeführt. Weiterhin wurde die materielle Ausstattung der Arbeitsgruppe vorangetrieben. Z. B. ermöglicht es die Inbetriebnahme einer weiteren Röntgenröhre nun auch anderen Arbeitsgruppen des Fachbereichs, für die Strahlenbiologie relevante Forschung durchzuführen.

Die Arbeitsgruppe „Molekulare Strahlenbiologie“ untersuchte die Reparatur Strahlen-induzierter DSBs im Hinblick auf die Chromatinorganisation. Experimente nach Röntgenstrahlung zeigten, dass DSBs im Heterochromatin langsamer repariert werden als im Euchromatin (1). Dabei könnte die Zeit, welche ein DSB unrepariert verbleibt, entscheidend für die Wahl des Reparaturweges sein. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Reparatur dieser Heterochromatin-assoziierten DSBs über den fehlerfreieren Mechanismus der Homologen Rekombination erfolgt (2).

Die zweite TUD Arbeitsgruppe „Molekulare Zellbiologie“ bezog Ende Oktober die Laborräume im Fachbereich Biologie. Obwohl der Umbau noch nicht abgeschlossen ist, wurden im SS08 als auch im WS08/09 Studentenpraktika und die Vorlesung „Zellbiologie“ durchgeführt. Im SS09 wurde die Vorlesungs-/Seminar- und Praktikumseinheit „Molekulare Zellbiologie“ abgehalten. Es wurden zwei Mitarbeiter zum 1. Januar 2009 eingestellt. Mit der Biophysik der GSI wurde eine Kooperation begonnen, zu der die TUD Zellbiologie Materialien (Zellzyklusmarker, Antikörper und Konstrukte) sowie Kompetenz beisteuern konnten. Ebenfalls wurden regelmäßige gemeinsame Gruppenseminare installiert, um die Forschungstätigkeit der Abteilungen zu koordinieren und zu konzentrieren. Es wurden auch gemeinsame Mitarbeiter eingestellt. Aufgrund von wiederholten Verzögerungen im Umbaubetrieb ist ein regulärer Laborbetrieb bis heute nur sehr eingeschränkt möglich.

Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der Interaktion zwischen Chromatinorganisation, DNA Schadensinduktion, sowie Reparatur. Unsere bisherigen Ergebnisse zu diesen Fragestellungen beruhen auf der Verwendung von nichtionisierender Strahlung, hauptsächlich Laser-mikrostrahlen, welche nun mit der ionisierenden Strahlung verglichen wird. Darüber hinaus verfolgen wir die Interaktion zwischen Zellzyklusdynamik und DNA Reparatur sowie die generelle Dynamik von Replikations- und Reparaturfaktoren (4,5). Um einen direkten Vergleich zwischen ionisierender und nichtionisierender Strahlenqualität zu ermöglichen wurden deshalb mit Hilfe der Einzelzellgelelektrophorese (Comet-assay) systematische Untersuchungen angestellt. Dabei konnte eine Korrelation zwischen Laser-mikrobestrahlung und  $\gamma$ -Bestrahlung etabliert werden (3).

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

Im WS09/10 werden beide TUD Arbeitsgruppen weitere Diplomarbeiten und Forschungspraktikanten aus dem Fachbereich Biologie der TUD übernehmen. Die Arbeitsgruppe „Molekulare Strahlenbiologie“ wird im Rahmen des Diplomstudiengangs „Biologie“ eine Vorlesung „Molekulare Strahlenbiologie“ und ein Seminar „DNA-Reparatur“ anbieten. Für Diplom Studenten wird ein Fortgeschrittenpraktikum mit Schwerpunkt Zellbiologie / Lebendzellmikroskopie / Genotoxizität angeboten.

Die „Molekulare Strahlenbiologie“ wird sich auf die Untersuchung der DSB-Reparatur im Hinblick auf die Chromatinorganisation konzentrieren. Experimente nach Schwerionsbestrahlung sollen weiterhin Aufschluss über die Bedeutung der Komplexität der DSBs im Hinblick auf die Wahl des Reparaturweges und die damit verbundene Genauigkeit der Reparatur liefern. Die „Molekulare Zellbiologie“ wird sich hauptsächlich die DNA Schäden in Heterochromatin untersuchen. Besonderes Augenmerk soll dabei auf der unterschiedlichen Induktionsrate und Persistenz der Schäden liegen. Außerdem soll geklärt werden, wieweit die Reparatur von DSBs in Heterochromatin besondere Signalwege und Reparaturfaktoren benötigt. Ein Augenmerk soll dabei auf MBD4 liegen, einer Heterochromatin spezifischen Glycosylase.

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

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

A. Beucher, J. Birraux, L. Tchouandong, O. Barton, A. Shibata, S. Conrad, A. Goodarzi, A. Krempler, P. Jeggo, M. Löbrich, 2009, unter Revision.

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

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

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

<b>Zuwendungsempfänger:</b> 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 31.01.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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 Fremdaktivitäten unter Berücksichtigung der besonderen Probenmatrizes und der nachfolgenden Analytik

AP2: Optimierung der Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS) hinsichtlich der Isobarensparation

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 experimentellen Arbeiten zur wichtigen Halbwertszeitbestimmung von Se-79 sind nahezu abgeschlossen.

Die experimentellen Arbeiten zur Halbwertszeitbestimmung von Lu-176 sind weiterhin auf einem vielversprechenden Weg.

Mo-93 aus dem Stahl eines Reaktordruckbehälters wurde nach einer Diplomarbeit 2007 nochmals bearbeitet (damals konnte mit AMS nur eine Nachweisgrenze angegeben werden) und nochmals mit AMS gemessen. Der Vorteil diesmal war eine verbesserte Mo-93 Referenzprobe und durch den Aufschluss einer signifikant größeren Menge Stahl eine höhere Konzentration Mo-93 in der Messprobe. Dies führte allerdings zu keiner Verbesserung der Analyse, die AMS war in diesem höheren Massenbereich nicht mehr in der Lage, die Isobaren zu trennen, was für eine verlässliche Aussage nötig wäre. Die mit zunehmender Masse schlechter werdende Effektivität der Isobaren-separation ist physikalisch bedingt.

Die Bestimmung von Tc-99 sowie I-129 mittels Neutronenaktivierungsanalyse wurde abschließend optimiert und ist bereit zur Anwendung.

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

#### Ergebnisse:

Erste Berechnungen der Halbwertszeit von Se-79 zeigen eine Verbesserung gegenüber den bisher publizierten Daten. Die herausragende radiochemische Reinheit der Probe versetzt unseren externen LSC-Experten in die Lage, einen für die verlässliche LSC-Messung eines Nuklides sehr wichtigen Parameter (Shape-factor-Funktion) zu bestimmen. Dies wird die Präzision unseres Ergebnisses erhöhen. Neben der Halbwertszeit sollen in einer separaten Veröffentlichung die Ergebnisse zur Shape-factor-Funktion publiziert werden. Da es sich beim Se-79 um ein höchst interessantes und schwieriges Nuklid handelt, ist der darauf verwendete Zeitaufwand gerechtfertigt.

Die wiederholte Bestimmung von Mo-93 aus RDB-Stahl mit AMS brachte trotz verbesserter Referenzprobe und größerer Probenmenge keine Verbesserung der Analyse gegenüber der Diplomarbeit von 2007. In diesem Massenbereich hat die AMS ihre physikalische Grenze zur effektiven Isobarenseparation bereits weitgehend erreicht.

Tc-99 sowie I-129 können aus einer Matrix abgetrennt und mittels Neutronenaktivierungsanalyse bestimmt werden.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im Forschungsreaktor sollen in Kürze Ho-166m und Sm-151 produziert und anschließend zur radiochemischen Reinheit präpariert werden. Eines dieser Nuklide wird als Diplomthema für einen FH-Studenten dienen. Die Halbwertszeiten dieser Nuklide liegen zwar „nur“ im mittleren Bereich, dennoch sind genaue Daten (z. B. Betaspektren zur Berechnung der Wärmeentwicklung) vor dem Hintergrund der Endlagerproblematik wünschenswert. In diesem Zusammenhang kommen auch langlebige Nuklide wie Pd-107, Ca-41 und Se-79 zur Sprache.

Für die Halbwertszeitbestimmung von Ca-41 soll eventuell nochmals ein Anlauf unternommen werden, nachdem sich u. U. über die PTB ein Kontakt zu einem MS-Labor ergeben könnte.

Die Arbeiten und Ergebnisse zur Halbwertszeitbestimmung von Se-79 sind für eine Publikation als Full-paper vorgesehen.

Ebenso soll es nach Abschluss der experimentellen Untersuchungen mit Lu-176 eine Veröffentlichung geben.

### 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 31.12.2009	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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 Klonogene Aktivität von p53-Wildtyp-Zellen im low- und high dose-Bereich

Anhand der Zelllinie A549, welche einen p53-Wildtyp-Status präsentiert, wurde in Wiederholungsexperimenten eine Überprüfung der klonogenen Aktivität nach *low dose*- und *high-dose*-Bestrahlung durchgeführt. In Ergänzung zu früher durchgeführten Experimenten wurde jedoch eine Spreizung des *low dose*-Bereichs vorgenommen. Dies war einerseits aufgrund der damals erhobenen Befunde bzgl. Hyperradiosensitivität im *low dose*-Bereich notwendig, um eine spezifischere Aussage in dem Bereich von 0-100 mGy zu erhalten. Weiterhin ermöglichte die Ausstattung des Bestrahlungsgeräts mit einer neuen Röntgenröhre (neue Röhre: max. 225 kV; alte Röhre: max. 100 kV) gegenüber eine genauere Dosierung im *low dose*-Bereich. Nach Bestrahlung mit 100 kV generierten Photonen der Dosis von 8, 18, 50, 100 und 2000 mGy ist das Hyperradiosensitivitätsphänomen bei 18 und 50 mGy zu beobachten. Nach einem Wiederanstieg der Überlebensfraktion bei 100mGy zeigen die A549 dann bei 2000 mGy die theoretisch zu erwartende Rückkehr zur normalen Dosis-Wirkungsbeziehung. Werden im Gegensatz dazu die A549-Zellen mit 200 kV generierten Photonen der Dosen 8, 18, 30, 50, 100 und 2000 mGy bestrahlt zeigt sich wiederum eine leichte Steigerung der Überlebensrate



bei 8 und 18 m Gy. In diesen Versuchen war das Hyperradiosensitivitäts-Phänomen jedoch bei 30 mGy zu beobachten, während bei 50 und 100 mGy ein Anstieg der Überlebensfraktion um etwa das 4-fache zu beobachten war. Bei 2000 mGy (d. h. bei 2 Gy) zeigte sich dann wieder die Rückkehr zur normalen erwarteten Dosiswirkungsbeziehung.

Inwiefern die leicht divergenten Ergebnisse bzgl. der Festlegung des Hyperradiosensitivitätsphänomens im Kontext des zellulären Überlebens durch die unterschiedlichen Anteile hoch- bzw. niederenergetischer Photonen nach Bestrahlung mit 100 kV bzw. 200 kV zurückzuführen ist kann derzeit nicht beantwortet werden und ist Gegenstand weiterführende Studien.

### 3.2 Überprüfung der potenziellen radioprotektiven Wirkung von Phosphotyrosin (pTyr) im low- und high dose-Bereich

Der Radioprotektor pTyr ist in verschiedenen Studien unter verschiedenen experimentellen Bedingung als Radioprotektor für Zellen mit normaler Funktion des Tumorsuppressorproteins p53 nach Bestrahlung im *high dose* Bereich (i.e. über 0.5-1.0 Gy) beschrieben. Die im Berichtszeitraum durchgeführten ersten Untersuchungen zur potentiell radioprotektiven Wirkung von pTyr im *low dose* Bereich an A549 Zellen lassen erkennen, dass zumindest unter den gewählten experimentellen Bedingungen (200 kV) der radioprotektive Effekt von pTyr erst ab einer Einzeldosis von 100 mGy festgestellt werden kann. Einschränkend ist hier zu bemerken, dass für dieses Experiment nur Einzeldosen von 20, 50, 100 und 2000 mGy eingesetzt werden konnten. In weiterführenden Experimenten wird speziell auch der Dosisbereich um 30 mGy mit 200 kV generierten Photonen näher analysiert.

### 3.3 Residuelle DNA-Schäden

Das Phänomen der Hyperradiosensitivität wurde in A549-Zellen je nach experimentellem Ansatz im Dosisbereich zwischen 18 - 50 mGy beobachtet. Zumindest für die Einzeldosen 18 und 50 mGy (Zellkulturen mit 30 mGy konnten bedingt durch einen experimentellen Artefakt nicht ausgewertet werden) hiermit übereinstimmend mit Hilfe des  $\gamma$ H<sub>2</sub>AX Assay festgestellt, dass in diesem Dosisbereich zu einer Akkumulation residueller DNA-Doppelstrangbrüche kommt. Die hier zu beobachtenden Werte für residuelle DNA-Doppelstrangbrüche liegen deutlich über den theoretisch zu erwartenden Werten nach Extrapolation der Kurve entsprechende einer linearen Dosiswirkungsbeziehung. Die Differenz dieser Ergebnisse im Vergleich zu den Überlebensraten in *low dose* Bereich bedürfen weiterer detaillierte Aufklärung.

## 4. Geplante Weiterarbeiten

Die geplanten Weiterarbeiten zielen darauf ab, die molekularbiologischen Mechanismen der sehr wahrscheinlich TP53-gekoppelten Hyperradiosensitivität auch im Kontext der durch pTyr beeinflussbaren EGFR-Regulation zu erfassen und detailliert zu beschreiben. Daneben ist abzuklären, inwiefern das Phänomen der Hyperradiosensitivität im *low dose* Bereich (zwischen 18 und 500 mGy) durch die energetische Qualität der Photonen bedingt sein kann.

## 5. Berichte, Veröffentlichungen

Dittmann K, Mayer C, Kehlbach R, Rothmund MC, Rodemann H.-P.: Radiation-induced lipid peroxidation activates src kinase and triggers nuclear EGFR transport. *Radiother. Oncol.* 92:379–382 (2009).

Florez U, Toulany M, Kehlbach R, Rodemann H-P.: 2-Methoxyestradiol-induced radiosensitization is independent of SOD but depends on inhibition of Akt and DNA-PKcs activities. *Radiother. Oncol.* 92:334-338 (2009).

<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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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 Mensch) die Regulation zwischen den konkurrierenden Reparaturwegen Single-strand annealing (SSA), homologer Rekombination und nicht-homologem endjoining untersucht (zu AP1). Diese Konstrukte wurden in Hamsterzellen mit unterschiedlichen Reparaturdefekten (AP1 und 3) (Mansour et al. 2008), in Nierenepithelzellen und in verschiedene humane Tumorzellen (AP5) integriert. Die Synchronisation von Zellen im Zellzyklus wurde optimiert (AP2). Parallel wurden Methoden entwickelt, um das Verhältnis und die Regulation der Reparaturwege an Tumorzellextrakten (zu AP1, 2, 3, 5) zu bestimmen.

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

konnten wir erstmalig beschreiben, dass Rad51, ein Protein, das normalerweise weder im nichthomologen Endjoining, noch im SSA beteiligt ist, dennoch in die Regulation und Abstimmung dieser beiden Wege involviert ist. Diese Ergebnisse sind inzwischen für Hamsterzellen publiziert. (Mansour et al. 2008). Derzeit arbeiten wir daran zu zeigen, dass SSA auch in höheren Säugerzellen (primaten und human) ein relevanter Ersatzweg sein kann. Bisher zeigten diese Zellen in ähnlicher Häufigkeit SSA wie die Hamsterzellen (Campos et al. 2009). Anders verhält es sich in unseren ersten Tumorproben (2 Kopfhaltumore). Insbesondere zeigte die sensitive Zelllinie ein hohes Maß an SSA dafür aber geringeren Gebrauch von NHEJ (Kasten-Pisula et al. 2009). Daraus entwickelten wir die Hypothese, dass in Tumorzellen DSB-Bruchenden instabil sind und damit mutagene Wege wie SSA begünstigt werden. In Folgeexperimenten konnten wir zeigen, dass SSA in diesen Tumorzellen unerwartet auch in der G1-Phase erfolgt, was einen weiteren Indikator des irregulären Gebrauchs von SSA darstellt.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Untersuchung von Hamsterzellen mit weiteren genetischen Defekten (irs1-SF und XR1 Zellen) (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).
- Etablierung von FISH-Technik kombiniert mit der Integration von multiplen Kopien von SSA-Substraten. Daran soll die Rolle von SSA und NHEJ für Austauschaberrationen untersucht werden, beginnend mit SKX und FaDu-Zellen (zu AP4).
- Suche nach dem Gendefekt, der dem irregulären Gebrauch des SSA in SKX-Tumorzellen zugrunde liegt (Erweiterung zu AP5).
- Fortsetzung biochemischer Reparaturassays an Zellextrakten einer größeren Anzahl von Tumorzellen, zunächst an acht weiteren Kopf-Haltumoren (zu AP1, 2, 3, 5).

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

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

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

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

<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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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:

Die Qualifizierung und Verifizierung der bisherigen Messergebnisse mit dem konfokalen Mikroskop wurde fortgesetzt.

AP2:

Entwurf und Konstruktion des Prüfstandes für Schneidsegmente:

Der Versuchsaufbau um die angeschaffte Drehbank wurde fertig gestellt und die Untersuchung der durch die Fa. Büdiam zur Verfügung gestellten Proben begonnen. Die Erkenntnisse, die bei diesen ersten Versuchen gewonnen wurden, sind in eine weitergehende Modifizierung und Erweiterung der Anlage eingeflossen. Im Einzelnen wurde adaptiert:

- eine Vorrichtung zur gewichtskraftgeregelten konstanten Kraftbeaufschlagung auf die Reibstifte,
- ein pneumatisch betriebener Zwangsantrieb zur Rotation der Reibstifte, um das Verhalten von Seilschleifperlen im Realbetrieb besser abbilden zu können,
- eine angepasste Probenaufnahme zur Handhabung von Reibstiften mit neuer Geometrie, die in Zusammenhang mit Fa. Büdiam entwickelt wurden.

Mit der erwähnten neuen Reibstiftgeometrie und den beschriebenen Anlagenerweiterungen ist nun ein wesentlich der Realität näherer Betrieb der Vorrichtung möglich.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP1:

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

AP2:

- a.) Durchführung von weiteren Erosionsversuchen (div. Hartstoffe in identischer Weichmetallmatrix gegen CrNi-Stahl, Baustahl und Beton) mit dem erweiterten Anlagenaufbau.
- b.) Analyse der Ergebnisse der Schneidsegmente bzgl. der Eignung als im Zerlegewerkzeug einsetzbare Blatt- bzw. Kettenbestückung.

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

Bach Fr.-W., Hassel Th., Klotz J., Schenk A.: Metal Matrix Composites als Schneidwerkstoff für Metallverbundstrukturen beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen. 9. Internationales Symposium "Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle", Dresden, 15.-17. April 2009.

<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 30.04.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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 ersten Halbjahr 2009 wurden zahlreiche Probenstifte für tribologische Untersuchungen beim Projektpartner IW Hannover hergestellt. Die Probenfertigung erfolgte dabei unter den bereits beschriebenen Herstellungsbedingungen durch Kaltpressen des Basispulvers mit den eingemischten Hartstoffen und der Aufsinterung auf einen Trägerkörper.

Zur Verifizierung der Verbesserung der tribologischen Eigenschaften durch die Zugabe der verschiedenen Hartstoffe, wurden gleichzeitig Proben aus dem Matrixmaterial gefertigt.

Als Hartstoffe in der Kupferbasismatrix wurden verschiedene Diamantqualitäten, Wolframkarbid und Wolframschmelzkarbid verwendet. Hierbei wurde bei der Probenfertigung jeweils die Konzentration der verwendeten Hartstoffe variiert. Beim Wolframschmelzkarbid wurden zusätzlich Proben mit verschiedenen Korngrößen der Hartstoffkomponente hergestellt. Versuche mit Yttriumoxid als Hartstoff nach der beschriebenen Fertigungsroute in die Metallmatrix einzubauen verliefen nicht erfolgreich.

Neben der Fertigung der oben genannten Proben, erfolgten weitere vorbereitende Untersuchungen zur Herstellung von Proben mit Vanadiumkarbid, Titanitrid und Titankarbid als Hartstoffkomponenten.

Aufgrund der Ergebnisse der tribologischen Untersuchungen der Verschleißstifte wurde eine neue Probengeometrie erarbeitet und konstruiert, mit der das Schneidverhalten der verschiedenen Materialien besser bestimmt werden kann. Ein Werkzeug zur Fertigung der Proben befindet sich zurzeit im Bau.

#### AP2:

Die für die Fertigung der verschiedenen Matrix-Hartstoff-Kombinationen erforderliche Fertigungsroute und Sintertechnik wurde weiter optimiert. Hierbei war die Zielsetzung den bestehenden Fertigungsweg den Erfordernissen der neuen Matrix-Hartstoff-Kombinationen und den variierenden Hartstoffkonzentrationen anzupassen. Es erwiesen sich insbesondere höhere Konzentrationen der Hartstoffe auf den Werkzeugverschleiß als problematisch. Das machte es weiter erforderlich die Werkzeuggeometrie, auch hinsichtlich der späteren Prototypenfertigung, den sich ändernden Erfordernissen anzupassen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: Es ist geplant weitere Matrix-Hartstoff-Kombinationen dem Projektpartner IW Hannover für die tribologischen Untersuchungen zur Verfügung zu stellen. Hierfür sollen vorwiegend Schneidproben der verschiedenen Materialkombinationen mit einer für diese Untersuchungen optimierten Probengeometrie gefertigt werden. Hierzu ist der Bau eines speziellen Werkzeuges geplant.

AP2: Weiterhin wird versucht die Mehrfachschneidentechnologie unter Einbeziehung der Verschleißuntersuchungen mit der optimierten Probenform in Hinsicht auf die kommenden Feldversuche weiter zu entwickeln.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Posteranmeldung für KONTEC 2009 in Dresden im Rahmen des BMBF Messestandes

<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 30.09.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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: Von den getesteten Auswertemethoden erscheint die ICA-Methode am besten geeignet, da bei der Korrelationsanalyse zwischen starken und schwachen Intensitäten unterschieden werden kann. Um das Setzen eines oft subjektiven Schwellenwertes zu umgehen, wird jetzt der Hintergrund subtrahiert. Mit der ICA-Methode lässt sich eine Korrelation der Daten auf verschiedene Weise darstellen. So kann man das *product of the differences from the mean* ( $PDM = (A_i - a)(B_i - b)$ ) jedes Pixelpaars grafisch in Streudiagrammen und als Farbencode des Originalbildes darstellen. Mit dieser Darstellungsweise konnten für verschiedene Histonmodifikationen Korrelationen zu  $\gamma$ -H2AX ermittelt werden, die auch dem visuellen Eindruck entsprachen. Es wurde damit begonnen, die bereits vorhandenen Datensätze verschiedener Histonmodifikationen und verschiedene Zeitwerte (Linien- und Matrixbestrahlung nach C-Ionen) mit der ICA-Methode auszuwerten. Da die begrenzte Auflösung der Epifluoreszenzmikroskopie in der Z-Ebene Lokalisierungsstudien in einer dreidimensionalen Struktur limitiert, wurden zusätzlich Ultradünnschnitte (0,15  $\mu\text{m}$ ) an einem Ultramikrotom von mit C-Ionen bestrahlten HeLa-Zellen hergestellt und Bilder an einem konfokalen Mikroskop aufgenommen (max. Auflösung in Z 0,2  $\mu\text{m}$ ). Die Datensätze werden zurzeit ausgewertet.
- AP2: Es wurden nukleäre und zytoplasmatische Extrakte von bestrahlten und unbestrahlten HeLa-Zellen hergestellt. Zur Etablierung der quantitativen Westernanalyse für Histone wurden verschiedene Antikörper der entsprechenden Modifikationen getestet. Zusätzlich wurden weitere Proteine als Ladekontrolle getestet. Zurzeit werden die Verwendung von Gesamtzellextrakten untersucht und die Bedingungen für die verschiedenen Antikörper optimiert.
- AP3: Es wurde begonnen, die Datensätze zur Lokalisierung von HP1- $\beta$ , CAF-1 und TIP60 mit Hilfe der ICA-Methode auszuwerten.
- AP4: Die Focibildung verschiedener an der DSB-Reparatur beteiligter Proteine wurde nach Ionenbestrahlung in modifiziertem Chromatin untersucht. Hierfür wurden neben der Kontrolle zwei Medienbedingungen gewählt, die zu einer Chromatinkondensierung führen und zwei Bedingungen, die eine Dekondensation zur Folge haben.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- AP1: Bereits vorhandene Mikroskopiedaten sollen im nächsten Berichtszeitraum mit der ICA-Methode ausgewertet werden.
- AP2: Im nächsten Berichtszeitraum soll die quantitative Westernanalyse der Modifikationen weitgehend abgeschlossen werden.
- AP3: Die vorhandenen Aufnahmen zur Lokalisierung von HP1- $\beta$ , CAF und TIP60 sollen ausgewertet werden; dazu sollen in weiteren Strahlzeiten Experimente durchgeführt werden.
- AP4: Die Focibildung nach artifizieller Chromatinkondensation soll unter verschiedenen Bestrahlungsbedingungen untersucht 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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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 Reaktionssweg, der lokal, aber möglicherweise unmittelbar, die Replikoninitiation durch die Aktivierung einer DNA-abhängigen Proteinkinase (DNA-PKcs) hemmt. Weitere Experimente deuten darauf hin, dass diese Kinase an der Erholung von der ATM-vermittelten Hemmung der DNA-Replikation beteiligt ist. Ziel dieses Vorhabens ist zu untersuchen, ob die DNA-PKcs:

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

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

*Inhibition der Replikation nach Bestrahlung:* Es wurde nachgewiesen, dass DNA-PKcs profiziente Zellen 1-1,5 Stunden nach Bestrahlung mit einer Dosis von 10 Gy eine deutliche, bis zu 70% ige Inhibition der DNA-Synthese zeigten. Es konnte beobachtet werden, dass 4-6 Stunden nach Bestrahlung eine komplette Wiederherstellung der DNA-Synthese (und damit eine Erholung der Inhibition) stattgefunden hat. Die entsprechenden Ergebnisse wurden mit humanen Zellen (M059K, ATRkd), chinesischen Hamsterzellen (CHO10B4, K147, XRS6, XRS5) sowie mit embryonalen Mausfibroblastzellen (Ligase IV<sup>-/-</sup>, Ligase IV<sup>+/+</sup>, sowie KU80<sup>-/-</sup>) erhalten. Weiterhin konnte bei DNA-PKcs defizienten Zellen im Rahmen dieser Zielsetzung ebenfalls eine Inhibition der DNA-Synthese nachgewiesen werden. Diese Inhibition konnte über einen Zeitraum von bis zu 12 Stunden beobachtet werden; eine Erholung wurde, im Gegensatz zu DNA-PKcs profizienten Zellen jedoch nicht nachgewiesen. Diese Resultate wurden bisher mit humanen Zellen (M059J) und chinesischen Hamsterzellen (IRS20, XRC1-3) erzielt. Diese Ergebnisse bestätigen die Funktion von DNA-PKcs in der Erholungsphase der DNA Replikation.

*Inhibition von ATM durch KU55933:* Um festzustellen, ob ATM in DNA-PKcs defizienten Zellen nach Bestrahlung aktiv bleibt und dadurch die beobachtete persistente Inhibition der DNA-Synthese auslöst, wurde diese Kinase mit dem spezifischen Inhibitor KU55933 inhibiert. Die Applikation dieses spezifischen Inhibitors führte zu einer sehr schwachen Erholung der Replikationsinhibition bei humanen M059J Zellen sowie bei der chinesischen Hamster Zelllinie IRS20. Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass ATM nur einen marginalen Effekt auf die Erholung der DNA-Synthese hatte. Ein Effekt dieses Inhibitors auf DNA-PKcs profiziente Zellen konnte nicht beobachtet werden. Das ist ein weiterer Hinweis für die besondere Funktion von DNA-PKcs in dem Phänomen der Replikationserholung.

*Inhibition von ATM und ATR durch Koffein:* Nach Behandlung von DNA-PKcs defizienten Zellen mit Koffein konnte gezeigt werden, dass die Applikation dieses Inhibitors zu einer vollständigen Erholung der Replikationsinhibition führte und damit einen starken Effekt auf die Erholung der DNA-Synthese hatte. Bei einigen humanen und CHO DNA-PKcs profizienten Zellen (M059K und K147) wurde eine leichte Abschwächung der Inhibition der DNA-Replikation und eine im Vergleich zu unbehandelten Zellen leicht beschleunigte Erholung der Replikationsinhibition verzeichnet. Dies konnte sowohl nach einer Behandlung der Zellen mit Koffein vor Bestrahlung als auch, in separaten Experimenten, nach einer Behandlung der Zellen mit Koffein 1 Stunde nach Bestrahlung gezeigt werden. Entsprechende Experimente mit der Zugabe von Koffein vor Bestrahlung zeigten in MEF Zellen (Ligase IV<sup>-/-</sup>, Ligase IV<sup>+/+</sup>) eine äußerst ausgeprägte Abschwächung der strahlungsinduzierten Replikationsinhibition sowie deren stark beschleunigte Erholung.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Präsenz von DNA-PKcs offensichtlich essentiell für eine Erholung strahlungsinduzierter Replikationsinhibition ist. Darüber hinaus ist eine andauernde Aktivität von ATM offensichtlich nicht, wie bislang vermutet, für eine persistente Replikationsinhibition verantwortlich. Da auf der anderen Seite die Inhibition von ATR zu einer vollständigen Aufhebung der Replikationsinhibition führt, kann eine neue Hypothese aufgestellt werden, nämlich dass wahrscheinlich diese Kinase infolge einer andauernden (Hyper-) Aktivierung einen großen Einfluss auf die Erholung strahlungsinduzierter Replikationsinhibition von DNA-PKcs defizienten Zellen ausübt. Entsprechende Experimente in dieser Richtung wurden mit Zellen durchgeführt, bei denen die zelluläre normale ATR-Aktivität durch die Induktion einer „Kinase-dead“-Mutante (ATRkd) überlagert und reduziert wurde. Darüber hinaus wurden Experimente mit Seckel-Syndrom Zellen (F02-98ATR) durchgeführt, die natürlicherweise eine reduzierte zelluläre ATR-Aktivität aufweisen. Die Ergebnisse sowohl der ATRkd- als auch der Seckel-Syndrom Zellen zeigten eine starke Abschwächung der Inhibition der DNA-Replikation sowie eine stark beschleunigte Erholung.

*Lokalisation der für die strahlungsinduzierte Replikationsinhibition verantwortlichen Proteindomäne von DNA-PKcs:* Um festzustellen, welcher Teil von DNA-PKcs genau für die Inhibition der DNA-Replikation verantwortlich sein könnte, wurde eine Punktmutation an einer Autophosphorylierungsstelle im ABCDE-Cluster von DNA-PKcs untersucht. Die entsprechenden Zellen (V3T2609A) tragen eine Mutation an der Position 2609 von DNA-PKcs. Unsere vorläufigen Ergebnisse könnten darauf hindeuten, dass diese Autophosphorylierungsstelle von DNA-PKcs einen Beitrag zur Inhibition der DNA-Replikation nach Bestrahlung leistet.

*Inhibierung von DNA-PKcs mit dem spezifischen Inhibitor NU7026:* Eine artifizielle DNA-PKcs-Defizienz konnte durch die Zugabe des spezifischen Inhibitors NU7026 bei solchen Zellen generiert werden, die natürlicherweise DNA-PKcs profizient sind. Es konnte nachgewiesen werden, dass eine solche künstlich erzeugte Defizienz zu einer deutlichen und lang anhaltenden Inhibierung der DNA-Replikation führte, deren Kinetiken mit solchen von DNA-PKcs defizienten Zellen vergleichbar waren. Diese Experimente sind besonders wichtig, da sie uns Möglichkeiten geben, viele Mutanten mit intakter DNA-PKcs Funktion an unseren Versuchen heranzuziehen. Mit Hilfe dieser Methodik konnten weiterhin Zellen untersucht werden (XRS5-, XRS6-CHO-Zellen), denen Ku, ein wichtiger „Zielfaktor“ von DNA-PKcs, fehlt. Die entsprechenden Resultate zeigen, dass Ku nicht an dem Defekt der Erholung der Replikationsinhibition beteiligt ist und geben einen ersten Hinweis darauf, dass dies ein DNA-PKcs spezifischer Effekt ist, d. h. ein Effekt, welcher (anders als bisher in der Literatur beschrieben), zumindest in diesem vorgestellten System unabhängig von Ku verlaufen kann. Dieser Effekt konnte ebenfalls in Zellen, die eine Defizienz in sowohl Ku als DNAPKcs aufwiesen bestätigt werden, ohne dass eine artifizielle DNA-PKcs-Defizienz mit NU7026 generiert werden musste.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

Für das nächste Jahr ist geplant, die Experimente des Zieles 2 abzuschließen und zu publizieren. Gleichzeitig wird der Effekt von ATR auf die DNA Replikation untersucht und das *in vitro* DNA Replikationssystem für unsere Fragestellung etabliert.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

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

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Karlsruhe (TH), 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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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 der Phosphorylierung

AP2: Kartierung der Phosphorylierungsstellen

AP3: Bestimmung der phosphorylierenden Kinasen

AP4: Auswirkungen der Phosphorylierung auf Protein-Protein Wechselwirkungen

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

Im vergangenen Berichtszeitraum haben wir den BRCA-1 Ko-Faktor BARD kloniert und erste Versuche zur Expression und Focibildung von BRCA und BARD nach ionisierender Strahlung durchgeführt. Diese Arbeiten waren notwendig, da es sich bei BRCA um ein sehr großes Protein handelt, das zudem nur in geringer Menge in der Zelle vorliegt. Wir haben hier mehrere Antikörper getestet und nun ein System verfügbar, mit dem wir BRCA und BARD sowohl endogen als auch nach Überexpression nachweisen können. Mit diesem System konnten wir bestätigen, dass BRCA und BARD nach ionisierender Strahlung in Foci kolo-kalisieren. Wir beobachteten ferner, dass es sich bei dem BRCA Protein um ein äußerst kurzlebige Protein handelt. Außerdem lassen initiale Versuche vermuten, dass der BRCA/BARD Komplex das Ku80 Protein ubiquitiniert.

Weitergehende Analysen des Reparaturfaktors XLF haben gezeigt, dass die Ubiquitinierung hauptsächlich über Lysin 63 erfolgt. Ferner zeigen unsere zurückliegenden Arbeiten, dass das XLF-Protein durch RNF8, und durch BRCA/BARD ubiquitiniert werden kann. In ersten Versuchen sahen wir darüber hinaus eine, wenn auch geringe Zunahme, der Ubiquitinierung nach ionisierender Strahlung. Daneben haben wir mehrere Lysine im XLF Protein durch Arginin ersetzt. Allerdings konnten wir noch keine überzeugende Reduktion der Ubiquitinierung bei den Argininmutanten feststellen.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

Wir werden die Ubiquitinierung von Ku80 weiter untersuchen. Wir werden diese Ubiquitinierung kartieren und ihre Folgen für 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 Reparatur von Doppelstrangbrüchen nachzuweisen. Außerdem werden wir XLF auf eine mögliche Assoziation mit dem RNF168 Protein untersuchen. Sollte eine solche Assoziation stattfinden, so werden wir ihre Abhängigkeit von der Ubiquitinierung testen. Wir verfolgen hier vor allem die Hypothese, dass die Ubiquitinierung von XLF möglicherweise die Assoziation mit RNF168 bestimmt und dass das XLF über diese Protein-Protein Wechselwirkung zum DNA Doppelstrangbruch gelangt.

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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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

Mit dem ForceArc<sup>®</sup>-Verfahren wurden Versuche zum stoffschlüssigen Fügen mehrlagiger Blechverbindungen aus unlegiertem Qualitätsstahl durchgeführt. Aus dem Probenmaterial wurden metallografische Schiffe angefertigt und lichtmikroskopisch analysiert. Die Mikro-

härteprüfung des Schweißnahtbereichs ergab folgende Werte: 150,6 HV0,2 im Bereich des Grundwerkstoffs, 141,1 HV0,2 in der Wärmeeinflusszone, 162,6 bis 174,0 HV0,2 in der Schweißnaht sowie 231,3 HV0,2 in der Randzone.

Proben aus unlegiertem Qualitätsstahl mit einem Korrosionsschutz auf Epoxidharzbasis sowie aus feuerverzinktem unlegiertem Qualitätsstahl wurden einer bis zu achtwöchigen Konstant-Klimaprüfung (80 °C, 98 % r. L.) sowie einer Salzsprühnebelprüfung gemäß DIN EN ISO 9227 ausgesetzt. Die Auswirkungen eines korrosiven Angriffs auf das mit definierten Kratzern oder Schleifspuren vorgeschädigte Material wurden durch Anfertigung metallografischer Schlitze und deren licht- sowie rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen analysiert. Deutliche korrosive Schädigungen wurden nur bei den Proben aus der Salzsprühnebelprüfung detektiert. Bei den Proben mit vorgeschädigtem Korrosionsschutz auf Epoxidharzbasis erfolgt der korrosive Angriff dabei auf den Grundwerkstoff in Form von gleichmäßig fortschreitender Flächen- bzw. Muldenkorrosion. Bei den verzinkten Proben wird dagegen die Verzinkung angegriffen, der Grundwerkstoff bleibt hier unversehrt.

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

Die Schweißversuche mit Parameterstudien zu den Schweißprozessen ForceArc® und ColdArc® werden fortgeführt. Die Beurteilung der Schweißnahtgüte erfolgt durch Anfertigung metallografischer Schlitze und licht- bzw. rasterelektronenmikroskopische Analyse sowie durch Mikrohärteprüfungen. In Zusammenarbeit mit Eisenwerk Bassum m.b.H. werden Untersuchungen zur Übertragbarkeit der unter Laborbedingungen erzielten Ergebnisse in die betriebliche Praxis durchgeführt.

Zur fehlerfreien Applikation der verschiedenen zur Verfügung stehenden Korrosionsschutzsysteme ist eine jeweils angepasste Beschaffenheit der Substratoberfläche von entscheidender Bedeutung. Daher sollen unter Verwendung von verschiedenen Strahlmitteln unterschiedliche metallische Oberflächen eingestellt und mittels konfokaler Lasermikroskopie analysiert werden (z. B. Ermittlung der Rautiefe). Durch anschließende Beschichtung und metallografische Analyse ist für verschiedene Korrosionsschutzsysteme die günstigste Oberflächenvorbehandlung zu ermitteln. Von besonderem Interesse ist dabei der Schweißnahtbereich.

Die Korrosions- und Klimaprüfungen an geschweißten und unterschiedlich beschichteten Probeblechen sowie Bauteilkomponenten zur Beurteilung des Langzeitverhaltens werden fortgesetzt. Die Untersuchung der korrosiven Schädigungen an den Proben erfolgt im mikroskopischen Bereich durch metallografische Analytik sowie im makroskopischen Bereich durch mechanische Prüfungen.

Für den Transfer der Korrosions- und Klimaprüfungen auf großvolumige Proben in Form von Fasssegmenten sowie auf einen 200-l-Behälter wird der im Rahmen des Vorhabens beschaffte Licht-Klimaprüfschrank (Prüfraumvolumen: 2000 mm x 1500 mm x 1150 mm) installiert und in Betrieb genommen.

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

Jendras, M.; Bach, Fr.-W.; Hassel, T.:

„Behälterdesign für die sichere Handhabung und Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen“

KONTEC 2009 - 9. Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ - Dresden (15.-17.04.2009), S. 547-553

<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 30.09.2010	<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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: Zur Vervollständigung der Datenbasis wurden Lymphozyten und hämatopoetische Stamm- und Progenitorzellen (HSPCs) von gesunden Spendern in vitro mit Kohlenstoffionen bestrahlt (extended Bragg Peak, 114-158 MeV/u) und Chromosomenschäden in Metaphasezellen mit der Giemsa-Färbung und der mFISH Technik ausgewertet. Ein Teil der Ergebnisse wird in Kürze publiziert (siehe Abschnitt 5: Becker et al., Hartel et al.).
- AP2: Die Auswertung des Mikrostrahlexperiments mit Kohlenstoffionen und eines Vergleichsexperiments mit Röntgenstrahlung wurde vervollständigt. Die Nachkommen der bestrahlten Zellen wurden kloniert und das Auftreten von Chromosomenaberrationen untersucht. Übereinstimmend mit den bisherigen Beobachtungen in Massenkulturen zeigten sowohl die Nachkommen der unbestrahlten als auch der bestrahlten Zellen genetische Instabilität. Weiterhin wurde die Akkumulation von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) mit hoher Zeitauflösung nach Röntgenstrahlung untersucht.
- AP3: Im Berichtszeitraum wurde die Langzeitkultivierung von drei Fibroblastenzelllinien, die mit Röntgenstrahlen oder Kohlenstoffionen bestrahlt worden waren, nach ca. 230 Tagen abgeschlossen. Zu verschiedenen Zeitpunkten wurden Mitochondrien isoliert und ihr Proteom analysiert. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen in den Kontrollen eine altersbedingte Abnahme der Gesamtmenge an ATP-Synthase, Superkom-



plexen der Atmungskette und HSP60. Im Gegensatz dazu wurden nach Röntgenbestrahlung erhöhte Mengen an ATP-Synthase und Superkomplexen gefunden, während die Menge von HSP60 konstant blieb.

AP4: In unseren Untersuchungen zur Telomerlängenregulation nach einer Strahlenexposition wurden AG1522 Fibroblasten mit Röntgenstrahlen und Kohlenstoffionen (10 MeV/u) bestrahlt und die Telomere mittels telomer-spezifischer *in situ* Hybridisierung angefärbt. Die quantitative Evaluation zeigte, dass Ionenstrahlen zu einer deutlicheren Telomerverkürzung führen als Röntgenstrahlen. Außerdem wurden die Zellen bezüglich genomischer Instabilität (Mikrokerne, Anaphasebrücken) untersucht. Hierbei ergab sich für beide Bestrahlungsarten der Trend, dass Zellen mit Zeichen genomischer Instabilität kürzere Telomere aufwiesen als Zellen, die einen normalen Status zeigten.

AP5: Die Analyse von Chromosomenschäden in Lymphozyten von Prostatakarzinompatienten, die mit Kohlenstoffionen-Boost und Photonen-IMRT oder ausschließlich mit Photonen-IMRT behandelt wurden, wurde fortgesetzt, die Daten zusammengefasst und eine erste Publikation eingereicht (siehe Abschnitt 5: Hartel et al.).

Darüber hinaus wurden strahlenresistente humane Prostatakarzinomzellen (PC-3, Du-145) mit Röntgenstrahlung oder Kohlenstoffionen bestrahlt (extended Bragg Peak) und das Zellüberleben im Koloniebildungstest sowie die strahleninduzierte Apoptose an Hand spezifischer morphologischer Veränderungen und über Caspase-3-Aktivierung bestimmt. Bezüglich dieser Endpunkte erwiesen sich Kohlenstoffionen effektiver als therapeutische Röntgenstrahlung.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

AP1: In einem weiteren Experiment soll die Induktion von chromosomalen Aberrationen in Lymphozyten nach Bestrahlung mit 1 GeV/u Eisenionen gemessen werden und eine Publikation wird vorbereitet.

AP2: Ein Wiederholungsexperiment mit Mikrostrahl soll durchgeführt werden. Die initial auftretenden chromosomalen Schäden sollen quantifiziert und mit den Schäden in den klonogenen Nachkommen und in Massenkulturen, in denen ein hoher Selektionsdruck herrscht, verglichen werden. Weiterhin soll mit geeigneten Antioxidantien die Akkumulation von ROS in den ersten Tagen nach Bestrahlung inhibiert werden und die Auswirkung dieser Behandlung auf die Zellzyklusprogression, die Apoptoserate und die Telomerlänge untersucht werden.

AP3: Die Analyse von altersbedingten bzw. strahleninduzierten Veränderungen im mitochondrialen Proteom wird fortgesetzt. Unter anderem soll in eindimensionalen SDS-Gelen die Menge an Superoxiddismutase und HSP22 analysiert werden und die beobachteten Veränderungen der Gesamtmenge der ATP-Synthase nach Bestrahlung mit Veränderungen des ATP-Levels korreliert werden. Dazu wird die Konzentration von ATP in den Zellen bis zu einem Monat nach Bestrahlung mit Röntgenstrahlen ermittelt.

AP4: Wildtyp und hTERT-transfizierte Fibroblasten (VH7) sollen mit niederenergetischen Kohlenstoffionen bestrahlt werden und Parameter wie Zellüberleben, chromosomale Veränderungen, Akkumulation von ROS, Apoptoserate und Telomerlängenregulation analysiert werden.

AP5: Die Analyse von Chromosomenschäden in Lymphozyten von Prostatakarzinompatienten wird fortgesetzt. Im 2. Halbjahr 2009 werden vor allem Proben ein Jahr nach Therapieende gewonnen. Weiterhin sollen die Prostatakarzinomzelllinien PC-3 und DU-145 mit Natrium-Selenit behandelt werden, um den intrazellulären oxidativen Stress zu erhöhen. Eine mögliche Strahlensensibilisierung durch Vorbehandlung mit Natrium-Selenit wird in beiden Tumorzelllinien sowie in normalen Fibroblasten an Hand der Zellinaktivierung und der Apoptoserate untersucht.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Becker, D. et al.: Response of human hematopoietic stem and progenitor cells to energetic carbon ions. *Int. J. Radiat. Biol.* (in press).

Conrad, S. et al.: Differential effects of irradiation with Carbon ions and X-rays on macrophage function. *J. Radiat. Res.* 50, 223-231 (2009).

Fournier, C. et al.: No evidence for DNA and early cytogenetic damage in bystander cells following heavy ion micro-irradiation at two facilities. *Radiat. Res.* 171, 530-540 (2009).

Hartel, C. et al.: Chromosomal aberrations in peripheral blood lymphocytes of prostate cancer patients treated with IMRT and Carbon Ions. *Radiotherapy and Oncology* (submitted).

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).

Ochab-Marcinek, A. et al.: Modelling radiation-induced cell cycle delays *Radiat. Environ. Biophys.* (in press)

<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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 583.747,00 EUR	<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Türler	

## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

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

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Unter Berücksichtigung bisheriger Erkenntnisse wurde zunächst eine fünf Kompartimente umfassende Elektrolysezelle mit passivem HTO-Zulaufmechanismus herangezogen, um den elektrodenmaterialspezifischen Tritium-Separationsfaktor  $\beta$  im Continuous-Feed-Modus zu bestimmen. Als erstes Elektrodensystem wurde Platin (Anode/Kathode) gewählt. Zu Zwecken der Präzisierung und Gegenkontrolle der  $\beta$ -Bestimmung wurde hierbei neben der konventionellen Versuchsanordnung ein Experiment mit umgekehrten Tritium-Aktivitätsverhältnissen zwischen Elektrolyt- und Feedlösung herangezogen. Dieser experimentelle Ansatz erlaubt in der Tat eine  $\beta$ -Bestimmung in guter gegenseitiger Übereinstimmung ( $\Delta\beta \approx 0,5$ ) und ist daher besonders zur Ermittlung hoher Separationsfaktoren vielversprechend.

In einem weiteren Versuchsaufbau wurde zu Zwecken der Reduktion des Energieverbrauchs die Anzahl der aktiven Kompartimente auf acht erhöht und die Reproduzierbarkeit der Pt-spezifischen  $\beta$ -Bestimmung unter Anwendung von (mit Ausnahme einer neuen Zulaufapparatur und neuer Stromversorgung) zum obigen Versuch identischen Versuchsbedingungen geprüft. Ein erstes Elektrolyseexperiment resultierte in Separationsfaktoren mit hervorragender Übereinstimmung mit Literaturdaten unter erwartungsgemäß größerer Volumenreduktion im Vergleich zur pentabipolaren Elektrolysezelle. Der Folgeversuch mit entgegengesetzten Tritium-Aktivitätsverhältnissen zwischen Feed- und Elektrolytlösung befindet sich derzeit im Aufbau.

Erste Versuche zur Bestimmung der Tritium-Affinität von Kobaltsalzen mittels Kryosublimation eines  $\text{H}_2\text{O}/\text{HTO}$ -Gemisches unter Anwesenheit von  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  zeigten, dass das Kobaltsalz Tritium akkumuliert und potentiell als Elektrolytzusatz zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz von Nutzen sein könnte.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

In den folgenden Versuchen gilt es, die elektrodenmaterialspezifischen Tritium-Separationsfaktoren weiterhin zu präzisieren, die Reproduzierbarkeit vor allem jener Versuche mit Elektrodenkombinationen mit hohen Separationsfaktoren (z. B. Fe/Pt, Ni/Pt) zu prüfen und die Konstanz der Wasserstoffisotopen-Trennleistung über einen längeren Zeitraum hinweg zu untersuchen. Da die Bestimmung von Separationsfaktoren im Continuous-Feed Modus zwangsläufig eine lange Elektrolysedauer erfordert, soll ein besonderes Augenmerk auf die Optimierung der Systemstabilität gerichtet werden (v. A. thermische Isolierung, Stromzufuhr).

Nach Abschluss dieser Arbeiten gilt es, Einflüsse von Elektrolytzusätzen wie beispielsweise  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  auf die Tritium-Akkumulation im Zellsystem sowie eine etwaige einhergehende Optimierung der Energieeffizienz zu quantifizieren und zu dokumentieren.

### 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> Uranaufnahme		
<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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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 Uranaufnahme in lebende Zellen. Dabei werden einerseits Bakterien untersucht, die eine hohe Mutationsrate und metabolische Diversität besitzen und für die Uranaufnahme in die Zelle nachgewiesen ist. Isolierte Gene könnten für die Erzeugung gentechnisch veränderter Pflanzen zur Phytoextraktion genutzt werden. Andererseits werden Pilze mit bekannt hoher Akkumulation von Radioisotopen untersucht. Die Identifizierung von Transportern in diesem System könnte dazu dienen, die entsprechenden Homologen in Pflanzen zu suchen, so dass die Verwendung natürlicher, nicht gentechnisch veränderter Pflanzen zur Phytoextraktion möglich wäre, da Pilze als eukaryontische System verwandte Mechanismen besitzen können.

### 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Die Arbeiten werden in Teilzielen verfolgt:

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die nunmehr freigegebene Genomsequenz von *Schizophyllum* konnte genutzt werden, um Gene zu annotieren, die mit der Uranaufnahme zusammenhängen könnten. Dies ist nur durch Experimente wirklich möglich, da bisher keine Urantransporter in Eukarya gefunden wurden. Wir haben daher Proteomanalysen und Transkriptomanalysen durchgeführt, um die Expression unter verschiedenen Bedingungen zu testen, in denen der Pilz auf Uran-haltigen Medien wächst. Weiterhin wurde eine Transkriptomanalyse von auf Uran-haltigem Schwarzpelit gezogenem Pilz erstellt, denn möglicherweise unterscheiden sich die Mechanismen in Flüssigmedium und auf einer festen, geogenen Substanz. Diese Kulturen haben wir mit verschiedenen Stadien aus dem Lebenszyklus des Pilzes auf normalen Kulturmedien verglichen. 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).

Bei der Untersuchung der *Arthrobacter*-Referenzstämme stellte sich heraus, dass eine Zellsorption der angebotenen U(VI) Spezies der dominante Prozess ist. Fluoreszenzspektroskopische Untersuchungen

ergaben deutliche Unterschiede zwischen den U(VI) Spezies in den mineralischen Ausgangsmedien und der sich bildenden Spezies an der Bakterienzelle. Entsprechend der ermittelten spektroskopischen Daten ist eine Bindung des Urans an Carboxylgruppen enthaltene Zellkomponenten sehr wahrscheinlich, wobei aber auch eine Koordination zu organischen Phosphatgruppen nicht ausgeschlossen werden kann.

Es konnten von kontaminierten Arealen der ehemaligen Wismut-Region Pilze aufgesammelt werden, die extrem hohe Anreicherungen für Uran zeigen. Dies schien vom Standort und der Pilzart abhängig zu sein. Es zeigten sich aber Transferfaktoren von bis zu 1000, was bisher für lebende Systeme nicht beschrieben ist. Diese Pilze werden daher mit in die Untersuchungen aufgenommen. Da es sich um Mykorrhizapilze handelt, werden Mikrokosmen erstellt, in denen unter kontrollierten Bedingungen eine Urantranslokation nachgestellt und die Bindungsformen vermessen werden können.

#### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Meilenstein 3 (Identifizierung der Uranbindenden Proteine) konnte aufgrund der Genomdaten bereits erreicht werden.
- Die Meilensteine 4 und 5 werden im Dezember 2009 und September 2010 angestrebt.

#### 5. Berichte, Veröffentlichungen

Schmidt A, Haferburg G, Schmidt A, Merten D, Gherghel F, Büchel G, Kothe E, 2009. Heavy metal resistance to the extreme: *Streptomyces* strains from a former uranium mining area. *Chemie der Erde* 69 S2, 35-44.

Haferburg G, Groth I, Möllmann U, Kothe E, Sattler I. 2009. Arousing sleeping genes: Shifts in secondary metabolism of metal tolerant actinobacteria under conditions of heavy metal stress. *Biometals* 22: 225-234.

Tietze D, Breitzke H, Imhof D, Kothe E, Weston J, Buntkowsky G. 2009. New insight into the mode of action of nickel superoxide dismutase by investigating metalloprotein substrate models. *Chemistry* 15, 517-523.

Narula N, Kothe E, Behl RK. 2009. Role of root exudates in plant-microbe interactions. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 82, 122-130.

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.

Merten D, Lonschinski M, Lorenz C, Kothe E, Bergmann H, Büchel H. 2009. The use of rare earth elements in the control and optimization of processes in bioremediation of areas heterogeneously contaminated with radionuclides. *KONTEC 2009*.

Zeggel L, Zellmer A, Schindler F, Schmidt A, Reinicke A, Pieplow G, Kothe E (2009) Microbial impact on heavy metal/radioisotope sequestration. *KONTEC 2009*.

Kothe E, Dimkpa C, Haferburg G, Schmidt A, Schmidt A, Schütze E. 2009. Streptomycete Heavy Metal Resistance: Extra- and Intracellular Mechanisms. In: Varma A, Sherameti I (eds.) *Heavy Metals in Soils*, Springer, Heidelberg.

Dimkpa C, Gherghel F, Haferburg G, Reinicke M, Schindler F, Schlunk I, Schmidt A, Schütze E, Zeggel L, Merten D, Büchel G, Kothe E. 2009. The effect of acid mine drainage on soil microbiology. *Plant* 117, 476-491

Iordache V, Gherghel F, Kothe E, 2009. Assessing the effect of disturbances on ectomycorrhiza diversity. *Int J Environ Res Public Health* 6: 414-432.

Hopf J, Langenhorst F, Pollok K, Merten D, Kothe E, 2009. Influence of microorganisms on biotite dissolution: An experimental approach. *Chem. Erde* 69, 45-56

Albarracín VH, Winik B, Kothe E, Amoroso MJ, Abate CM, 2009. Copper bioaccumulation by the actinobacterium *Amycolatopsis* sp. AB0. *J. Basic Microbiol.* 48, 868-874

Iordache V, Gherghel F, Kothe E. 2009. Ectomycorrhizal diversity in young oak forests are controlled by different heavy metals. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 6, 414-432

<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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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 Keimversuche wurde ein Gefäßversuch mit ausgewählten Genotypen (*Triticale*, *Vicia faba*, *Brassica napus*), verschiedenen Bodenbehandlungsstrategien (Erhöhung von pH-Wert und Corg-Anteil) und unterschiedlichen Additiven (NPK-Dünger, Streptomyceten +

Mycorrhiza (S+M)) durchgeführt. Dabei wurden drei Bodenbehandlungen getestet: Testfeldsubstrat, Testfeldsubstrat + Rendzina-Oberboden (gemischt im Verhältnis 2:1) und Testfeldsubstrat + 5 cm Rendzina-Oberboden als Bodenauftrag. Korngröße, pH, Kationenaustauschkapazität, Glühverlust als auch die bioverfügbaren und totalen Elementgehalte ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Extraktion, Totalaufschluss) wurden für alle Varianten vor der Aussaat und nach der Ernte ermittelt. Die mikrobielle Aktivität wurde über die Bestimmung von Lebendzellzahlen und Bodenatmung erfasst.

#### *Testfeld Gessenwiese*

Alle Komponenten (Lysimeter, Plots, bodenhydrologische Messplätze) des neu eingerichteten Testfeldes wurden kartographisch eingemessen. Es wurden bodenhydrologische und klimatische Daten zur Erstellung der klimatischen Wasserbilanz erfasst. Die (physiko)chemische Charakterisierung der Grundwässer sowie der Sickerwässer der bodenhydrologischen Messplätze und der Lysimeterstation erfolgte im März und Mai 2009 und wird in regelmäßigen Abständen fortgeführt. Die Ergebnisse eines zuvor durchgeführten Gefäßversuches wurden auf das Testfeld übertragen. Nach einer NPK-Düngung zur Grundversorgung der Pflanzen auf dem gesamten Testfeld wurden drei Phytoremediationsvarianten angelegt: Testfeldsubstrat (TF) + NPK-Düngung, TF + NPK + S + M, TF + Rendzina-Oberboden gemischt im Verhältnis 2:1. Im Anschluss wurden Sonnenblume, *Brassica juncea* und *Triticale* auf den Subplots und den Lysimetern ausgesät.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

#### *Laborversuche*

Untersuchungen der Lysimetersubstrate im Labormaßstab (Säulenversuche) bilden die Grundlage für das allgemeine Verständnis der ablaufenden Sickerwasser- und Schadstofftransportprozesse und sollen in Modellierungsansätze einfließen. In einem weiteren Gefäßversuch wird der Effekt von verschiedenen Düngern und biologischen Additiven auf die Schwermetallmobilität im Substrat und die Aufnahme durch die Pflanze untersucht. Zusätzlich wird untersucht, inwiefern eine Vorbehandlung des Saatgutes mit unterschiedlichen biologischen Additiven Einfluss auf das Wachstum (Biomasse) und die Extraktionsleistung der Pflanzen hat. Die Analytik der Pflanzenkompartimente, die Bestimmung der Elementgehalte und deren Pflanzenverfügbarkeit im Substrat, die Erfassung biologischer Wachstumsfaktoren (Biomasse, Keimrate) und Stressindikatoren sowie die Ermittlung mikrobiologischer Parameter (Lebendzellzahlen, Bodenatmung) werden für die Gefäßversuche durchgeführt.

#### *Testfeld Gessenwiese*

Aus der Kombination der chemischen Charakterisierung von Pflanzen (Ernte Juli 2009), Boden und Wasserphase werden erste Ergebnisse zur Bilanzierung von Stoffflüssen und Frachten der R/SM im System Pflanze-Boden-Wasser ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) sowie der Phytoremediationsleistung der einzelnen Pflanzengenotypen (Biokonzentrationsfaktor (BCF), Translokationsfaktor (TF)) abgeleitet. Im Anschluss werden weitere biomassestarke Genotypen (Sonnenblume, Mais, Sudangras) untersucht.

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

Mirgorodsky, D., Ollivier, D., Merten, D., Bergmann, H., Büchel, G., Willscher, S., Wittig, J., Jablonski, L. & P. Werner (2009): Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließende Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe (PHYTOREST). Proceedings KONTEC 2009, 15.-17.04. 2009 in Dresden.

<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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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

Versuche zur Entfrachtung von SM/R- belastetem Pflanzenmaterial

- Durchführung von Wiederholungsversuchen zur Untersuchung der Bindung der SM/R an das beladene Pflanzenmaterial mit Hilfe der sequentiellen Extraktion
- Durchführung von Versuchen zur Entfrachtung des Pflanzenmaterials mit verschiedenen Extraktionsmitteln, Wiederholung der Versuche zur Qualitätssicherung
- Erste Untersuchungen zu Prozessparametern bei der Entfrachtung: Untersuchung des pH-Wertes



Keim- und Pflanzversuche in schwermetalldotierten Böden (Modellversuche)

- Durchführung von Keimversuchen mit *Solanum tuberosum* in SM/R-dotiertem Sand
- Planung und Beginn von Topfversuchen mit *Solanum tuberosum* in unterschiedlich SM/R-dotierten Böden bei verschiedenen pH- Werten (nach Optimierung der pH- Regulation)
- Erfolgreiche Durchführung von Topfversuchen mit *Helianthus tuberosus* in SM/R-dotierten Böden unterschiedlicher Konzentrationen, Ermittlung der maximal tolerierbaren SM/R- Konzentrationen und des Langzeitverhaltens der Pflanzen. Dabei wurde, analog zu den Gärversuchen, auch beobachtet, dass eine geringe SM/R-Belastung des Bodens zu einem anfänglich besseren Pflanzenwachstum führt; erhöhte SM/R- Konzentrationen des Bodens führen zu einem verzögerten Keimen, bis schließlich nur noch kurze oder gar keine Keimansätze mehr gebildet werden können. Die Maximalkonzentration an SM/R für *Helianthus tuberosus* unter diesen Bedingungen wurde bestimmt. Über eine längere Wachstumsperiode führen alle SM/R-Dotierungen im Boden zu einer sichtbaren Störung der Chlorophyllbildung der Pflanzen.
- Erfolgreiche Durchführung von ersten Keimversuchen mit Samen von *Beta vulgaris*

Durchführung von Versuchen zur Vergärung von SM/R- belasteten *Solanum tuberosum* und *Helianthus tuberosus*

- Durchführung weiterer Gärversuche mit SM/R- dotierten *Solanum tuberosum*-Maischen unter optimierten Bedingungen und erneute Erhöhung der SM/R- Konzentrationen. Dabei wurden bei geringen SM/R-Zusätzen erhöhte Ausbeuten erzielt (102 und 103 % des Referenzversuches), also keine Hemmung des Gärprozesses unter diesen SM/R- Konzentrationen.
- Durchführung erster Gärversuche mit *Helianthus tuberosus* zur Optimierung des Feststoffgehaltes
- Gärversuche mit *Helianthus tuberosus* bei verschiedenen SM/R-Konzentrationen; Einsatz der doppelten SM/R- Konzentrationen wie in den Versuchen mit *Solanum tuberosum*. Dabei wurden 109.7 % und 111.2 % der Ausbeute des Referenzversuches erreicht. Eine Wiederholung der Versuche und Überprüfung der Ergebnisse ist im 2. Halbjahr 2009 geplant.

Aufbau und Inbetriebnahme des neuen ICP-MS- Messgerätes

- Einarbeitung des Gerätes und Erstellung erster Messmethoden
- Verbesserung der Kalibration durch zusätzliche interne Massenstandards
- Untersuchungen zur Wiederfindung / Qualitätssicherung, Optimierung der Probenvorbereitung für die Spurenanalytik
- Untersuchung erster Probenmatrices auf den Elementgehalt und Untersuchung von Matrixeffekten auf die Messungen.

Gemeinsame Durchführung von regelmäßigen Projekttreffen mit den Projektpartnern.

Gemeinsame Begehung des Testfeldes auf der Gessenwiese mit den Projektpartnern am 24.06.2009.

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

Im nachfolgenden Berichtszeitraum sind die weiteren Versuche gemäß Untersuchungsprogramm (AP2) geplant.

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

Eine Vorstellung erster Versuchsergebnisse erfolgte gemeinsam mit den Projektpartnern auf der KONTEC 2009 (1. Preis für den besten Kurzvortrag). Ein weiterer gemeinsamer Vortrag über erste Ergebnisse des Projektes wird auf der IBS 2009 in Bariloche/ Argentinien im September erfolgen. Eine gemeinsame Publikation wurde bereits akzeptiert (Adv. Mat. Res., Vol. 71-73 (2009)). Eine Teilnahme am Jenaer Sanierungskolloquium 2009 mit einem Vortrag ist geplant.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Karlsruhe (TH), 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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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

#### AP2: Grundlagenuntersuchungen

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

#### AP3: Simulationsstudien

Aufbauend auf den Grundlagenuntersuchungen wurde mit den Simulationsstudien begonnen. Hierbei wurde eine speziell für den Einsatz eines Laserbearbeitungskopfes ausgelegte Kinematik und Konstruktion des Grundträgersystems entwickelt

#### AP7: Positionserkennung

Parallel zu den Grundlagenuntersuchungen wurde die Entwicklung einer automatisierten Positionserkennung des Grundmoduls (Trägermoduls) an einer definierten Oberfläche durchgeführt. Des Weiteren wurde eine Lösung für die computergestützte Visualisierung der Position und Umgebung erarbeitet.

#### AP8: Intelligente Steuerung

Über die Entwicklung der Positionserkennung hinaus wurde mit der Erarbeitung einer intelligenten Steuerung begonnen. Diese erfasst mittels der eingebundenen Sensoren die umgebende Struktur, inklusive Störkanten, Hindernisse und Ecken. Des Weiteren umfasst die intelligente Steuerung die Programmierung von Teachfunktionen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Im nachfolgenden Berichtszeitraum werden die Simulationsstudien abgeschlossen und die Arbeiten für den Bau des Grundmoduls begonnen. Darüber hinaus werden die Arbeiten hinsichtlich der intelligenten Steuerung weitergeführt.

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

- KONTEC 2009 in Dresden.  
Im Rahmen der KONTEC 2009 wurde das aktuelle Forschungsvorhaben MANOLA in einem gemeinsamen Plenarvortrag mit unserem Projektpartner TU Dresden sowie am Stand des BMBF mit einem Poster und einem Exponat erfolgreich vorgestellt:  
Jan Bremmer, Prof. Sascha Gentes, Universität Karlsruhe (TH); Rene Littwin, Prof. Antonio Hurtado, TU Dresden: Dekontamination radioaktiv belasteter Betonoberflächen mittels eines Manipulator getragenen Lasersystems (MANOLA); KONTEC Dresden 2009.
- HANNOVER MESSE 2009 in Hannover.
- Präsentation des Forschungsvorhabens MANOLA am Stand des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) auf der Hannover Messe 2009.
- IAEA Workshop 2009 in Karlsruhe.  
Vortrag über Manipulator getragene Rückbausysteme im Rahmen des IAEA Workshops 2009 mit internationalem Fachpublikum in Karlsruhe. In diesem Vortrag wurde unter anderem 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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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

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

### 3. Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

API: Weiterführung der Literaturrecherche.

APII: Für die Ermittlung der optimalen Prozessparameter wurde ein, an den neuen 10 kW Laser mit Rechteck-Strahlprofil angepasster Arbeitskopf konstruiert und gefertigt. In einer ersten Versuchsreihe wurden anschließend verschiedene Parameterstudien durchgeführt um eine optimale Parameterkombination zu ermitteln. Variiert wurden der Vorschub und der Ausblasdruck in Abhängigkeit von der Laserleistung. Darüber hinaus kamen verschiedene Düsengeometrien (runder bzw. rechteckiger Strahlquerschnitt) zum Einsatz um deren Einfluss auf den Schmelzeaustrag zu ermitteln. Durch den gewählten modularen Aufbau des Arbeitskopfes ist es möglich, auf einfache Weise Modifikationen (z. B. Düsenstrahlwinkel, Düsenabstand zum Schmelzebad) vorzunehmen. In einem ersten Schritt betrifft dies die Anordnung der Düsen und eine Änderung im Bereich der Strömungsführung der Absaugung.

Während der Versuche hat sich bestätigt, dass eine wesentlich geringere Überlappung der Spuren im Vergleich zum Laserabtrag mittels 3 kW Laser mit rundem Strahlquerschnitt notwendig ist. Mit der derzeit maximal verfügbaren Laserleistung von 10 kW ist eine Flächenabtragsleistung von 1,2 m<sup>2</sup>/h bei einer Tiefe von 3 mm realisiert worden (mit dem 3 kW Diodenlaser ließ sich eine Flächenabtragsleistung von 0,3 m<sup>2</sup>/h realisieren).

APIII: Die Arbeiten zur Simulation des Abtragsprozesses wurden begonnen.

APIV: Der Arbeitskopf (Teil Laserarbeitskopf) wurde gefertigt. Durch die modulare Bauweise ist es möglich schnell und mit geringem Aufwand Modifikationen vorzunehmen.

APV: Die einzelnen Komponenten wurden beschafft, die Halterung für die einzelnen Sensoren wurde konstruiert und in die Fertigung gegeben. Mit der Erstellung des Programms zur Auswertung der Sensorsignale wurde begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Weiterführung der Arbeiten laut Arbeitsplan. Schwerpunkte sind:

- Ermittlung der Stoffwerte für die einzelnen Betonmatrixbestandteile als Eingabewerte für die Simulation (AP III)
- Tests zu verschiedenen Modifikationen am Arbeitskopf (AP IV)
- Programmierung der Sensorik im Zusammenspiel mit der Steuerung des Arbeitskopfes (AP V)
- Abschluss der Literaturrecherche zu Verfahren im Rückbau von KKW's (AP I).

### 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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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

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

- AP1: Das Arbeitspaket wurde Anfang 2009 mit Abschluss der Literaturrecherche erfolgreich beendet. Als Ergebnis wurde eine Zusammenstellung relevanter Abbau- und Dekontaminationstechniken mit Verweisen auf relevante Literatur erstellt.
- AP2: Ein Entwurf einer Datenerfassungsstruktur zu späterer Datenerfassung wurde auf Grundlage der Literaturrecherche und bisheriger Erfahrungen der GRS im Zusammenhang mit der Sammlung und Auswertung von Expositionsdaten erarbeitet. Der Entwurf wird derzeit mit verschiedenen Stilllegungsprojekten diskutiert, um einerseits noch fehlende Aspekte zu identifizieren und andererseits die technischen Voraussetzungen für die Datenerfassung in den einzelnen Stilllegungsprojekten ausreichend zu berücksichtigen. Erste Rückmeldungen einzelner Stilllegungsprojekte zeigen, dass die radiologischen Faktoren und Einflussgrößen in einen Kontext mit den nicht-radiologischen Einflussgrößen gesetzt werden müssen. Im Detail muss hierzu geklärt werden, welche Faktoren mit welchem Detail erfasst werden können.
- AP3: Keine.
- AP4: Keine.
- AP5: Keine.
- AP6: Ein für das erste Halbjahr 2009 vorgesehener Workshop zur Information über das Projekt und zur Werbung für eine aktive Mitarbeit wurde ersetzt durch verstärkte Aufnahme direkter bilateral Kontakte zu relevanten Stilllegungsprojekten. Kontakte wurden aufgenommen mit stilllegenden Betreibern von Forschungsreaktoren und Leistungsreaktoren und es wurden einzelne Stilllegungsprojekte besucht. Hierbei wurde der bisherige Entwurf der Datenerfassungsstruktur vorgestellt und für eine Unterstützung des Projektes geworben.
- AP7: Im Rahmen des Arbeitspaketes wurde die KONTEC 2009 in Dresden besucht. Die Sitzungsbeiträge werden derzeit ausgewertet. Ein Sitzungsbericht liegt im Entwurf vor und wird dem Auftraggeber nach interner Qualitätssicherung zugeleitet.

### 4. Geplante Weiterarbeiten

Die Arbeiten zum AP2 werden fortgeführt und sollen schwerpunktmäßig im 3. Quartal 2009 abgeschlossen werden. Hieran soll sich im 4. Quartal der Beginn der Sammlung von Daten anschließen. Umfang und zeitliche Dauer der Datensammlung wird sich nach den Möglichkeiten der jeweiligen Stilllegungsprojekte richten.

Im 1. Quartal 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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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

- Beschaffung von Probenmaterial und Ausstattung der Versuchseinrichtungen:
  - Spezifizierung der Proben aus Holz und Dämpferbeton mit Abstimmung der Lieferbedingungen; Fertigung und Anlieferung der Prüfkörper aus Aluminium und PU-Schaum
  - Entwicklung, numerische Simulation und Fertigung einer Probenhalterung zur Minimierung der Querdehnung für würfelförmige Prüfkörper mit  $L=100$  mm
  - Entwurf einer Probenhalterung für würfelförmige Prüfkörper mit  $L=200$  mm
  - Entwurf einer transportablen, biegesteifen Unterlage für Dämpferbetonplatten zur Vor-Ort-Herstellung am Fallprüfstand in Horstwalde
  - Entwurf einer Fangvorrichtung für das Fallgewicht zur Verhinderung eines Sekundäraufpralls am Fallprüfstand
  - Beschaffung eines Klimaschranks (voraussichtlicher Liefertermin 33. KW)
- Erstellung einer Systematik zur Unterteilung der geplanten über 1000 Versuche in handhabbare Arbeitspakete und Versuchsreihen mit Vergabe eindeutiger Identifikatoren für jeden Einzelversuch
- Entwicklung von FE - Modellen zur Simulation der Prüfkörper auf der Grundlage von Standard - Materialmodellen für plastisches Werkstoffverhalten mit Kennwerten aus der Fachliteratur
- Numerische Vorausberechnungen für quaderförmige Prüfkörper unter einaxialer, konstanter Stauchung zur Spezifizierung geeigneter Versuchsparameter (Geschwindigkeit, Gesamtstauchung, erforderliche Last)
- Experimentelle Voruntersuchungen von quaderförmigen, nicht eingespannten Prüfkörpern aus Aluminium, Holz, und PU-Schaum zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Stoßprüfstandes hinsichtlich Messwerterfassung (Kraft- und Weg-Signale), ausführbare Geschwindigkeiten und erreichbare Stauchungen sowie zur Optimierung der Probengeometrie und des Schmiermittels

### 4. Geplante Weiterarbeiten

- Durchführung weiterer Untersuchungen und konstruktiver Maßnahmen am servohydraulischen Stoßprüfstand zur Sicherstellung der planmäßigen Versuchsabläufe und Messwerterfassungen
- Durchführung und Auswertung der Aluminiumvorversuche am Stoßprüfstand; Nachberechnungen zur Evaluierung des Einflusses der Prüfmaschine und Erprobung von Methoden zur Bestimmung der Parameter des Materialmodells
- Durchführung von Versuchen mit unterschiedlichen, konstanten Dehnraten am Stoßprüfmaschine bei Raumtemperatur: reguläre, einaxiale Versuche und Vorversuche mit Probenhalterung für alle zu untersuchenden Stoßdämpfermaterialien
- Untersuchungen zur Handhabung von temperierten Proben
- Vergleich verfügbarer Materialmodelle des FE-Programms Abaqus® durch analytische Betrachtungen und durch numerische Auswertungen einfacher FE-Modelle

### 5. Berichte, Veröffentlichungen

In Vorbereitung:

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

<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> 01.01.2009 bis 30.06.2009	
<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:

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

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

Die laufenden Arbeiten der Projektpartner wurden in einem 1. Projektgespräch am 27.02.2009 in Jülich (WTI) abgestimmt. Insbesondere wurden die Voraussetzungen und die Randbedingungen für die zu beschaffenden Proben aus Holz, PU-Schaum und Dämpferbeton besprochen und festgelegt. Die Gespräche mit dem vorgesehenen Lieferanten der Dämpferbetonproben wurden hinsichtlich der Lieferrandbedingungen vorangetrieben und stehen kurz vor dem positiven Abschluss.

Zwischen den beteiligten Projektpartnern wurde ein Kooperationsvertrag geschlossen.

Bei dem 2. Projektgespräch am 25.06.2009 in Berlin (BAM) wurde der Projektfortschritt erörtert. Die Beschaffung des Probenmaterials aus PU-Schaum wurde durch WTI abgeschlossen. Die Proben liegen bei der BAM zur Versuchsdurchführung bereit.

Die Beschaffung der Holzproben wurde durch WTI gestartet. Erste Proben aus Vollholz wurden bereits an die BAM geliefert.

Die Beauftragung der GNS Gesellschaft für Nuklear-Service mbH zur Mitarbeit im Rahmen des Vorhabens (ZQUEST) durch die WTI ist erfolgt.

Erste Arbeiten zur Auswahl der möglichen Materialgesetze und vorlaufende Konzept-Modellierungen im FE-Programm sind durchgeführt worden.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

- Abstimmung des Vorgehens bei der Versuchsdurchführung mit den diversen Probengeometrien und Versuchsaufbauten.
- Zusätzlich zu den bisherigen Holzproben sollen weitere Proben mit schrägem Faserverlauf beschafft und in den Versuchsablauf einbezogen werden. Details hierzu (z. B. Probenanzahl, Faserverläufe) sind zwischen den Projektpartnern noch abzustimmen.
- Abgleich der Arbeiten und der Ergebnisse aus experimenteller Erprobung und numerischer Simulation.
- Festlegung der möglichen Gesetzmäßigkeiten zur Erfassung und Modellierung des Materialverhaltens.
- Beschaffung des Dämpferbetons, Lieferung und Einbau am Versuchsaufbau.
- Begleitung der ersten Versuche an Proben aus PU-Schaum und Holz.
- Beschaffung der geschichteten Holzproben aus Brettchen von kreuzweise angeordnetem Faserholz.
- Fortsetzung der Arbeiten zur Simulation des Elementverhaltens mit verschiedenen Materialgesetzen.
- Modellierung der Proben und Versuchsaufbauten zur Nachberechnung der Versuche.

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

Keine.

<b>Zuwendungsempfänger:</b> Universität Karlsruhe (TH), 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> 01.03.2009 bis 30.06.2009	
<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.

## 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**

AP1:

Konzeption und Dimensionierung des Grundversuchstandes sind abgeschlossen. Die Messverfahren und die Sensorik wurden weitestgehend festgelegt. Eine Wechselvorrichtung für die zu schneidenden Materialien wurde hergestellt. Ebenfalls wurde ein Wasserbecken konstruiert und gebaut, so dass die Materialien unter Wasser gesägt werden können. Dies erfolgte in Kooperation mit Hilti.

### **4. Geplante Weiterarbeiten**

AP2:

Im nachfolgenden Berichtszeitraum werden die Grundlagenuntersuchungen begonnen und erste Messwerte aufgezeichnet und ausgewertet. Aus diesen gewonnenen Kenngrößen/Parametern werden weitere Optimierungen am Versuchstand und am Sägeprozess erfolgen.

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

Es ist vorgesehen einen Beitrag zur Jahrestagung Kerntechnik 2010 einzureichen.



## 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;">📖 46</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;">📖 72</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;">📖 40</span>  |
| <b>Friedrich-Schiller-Universität Jena, Fürstengraben 1, 07743 Jena</b>  |  |
| 02 S 8517  | Uraufnahme <span style="float: right;">📖 60</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;">📖 62</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;">📖 70</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;">📖 36</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;">📖 56</span>   |
| <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 <span style="float: right;">📖 44</span>  |
| 02 S 8487  | Konstruktion, Herstellung, Beschichtung, Prüfung und Handhabung langzeitstabiler Gebinde zur sicheren Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen <span style="float: right;">📖 54</span>  |
| <b>Ludwig-Maximilians-Universität München, Geschwister-Scholl-Platz 1, 80539 München</b>                             |  |
| 02 S 8457  | Untersuchung von epigenetischen Effekten nach Bestrahlung menschlicher Zellen - <i>Strahlenforschung</i> <span style="float: right;">📖 48</span>   |

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

- |           |   |    |
|-----------|---|----|
| 02 S 8335 | Biologische Wirkung niedriger Dosen ionisierender Strahlung<br>- <i>Strahlenforschung</i> | 34 |
|-----------|---|----|

<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) | 64 |
| 02 S 8558 | Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie  | 68 |

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

- |           |  |    |
|-----------|--|----|
| 02 S 7951 | Entsorgung von Beryllium / Berylliumoxid und Cadmium aus Forschungsreaktoren   | 32 |
| 02 S 8376 | Bestimmung von Endlager-relevanten, langlebigen Radionukliden mittels radiometrischer und spezieller massenspektrometrischer Verfahren | 38 |
| 02 S 8507 | Verfahren zur selektiven Tritium-Extraktion aus wässrigen Abfalllösungen und langzeitstabilen Bindung auf einem Träger                 | 58 |

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

- |           |  |    |
|-----------|--|----|
| 02 S 8467 | Regulationsmechanismen eukaryotischer DNA Replikation nach Bestrahlung<br>- <i>Strahlenforschung</i> | 50 |
|-----------|--|----|

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

- |           |  |    |
|-----------|--|----|
| 02 S 8477 | Regulation der Nicht-homogenen Endverknüpfung durch posttranslationalen Modifikation<br>- <i>Strahlenforschung</i> | 52 |
| 02 S 8548 | Verbundprojekt: MANOLA - Manipulatorgesteuerter Oberflächenabtrag durch Lasertechnologie                           | 66 |
| 02 S 8608 | ASTU Automatisierte Seilsägetechnologie für Unterwasserdemontage   | 76 |

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

- |           |   |    |
|-----------|---|----|
| 02 S 8427 | Genomische Instabilität durch Doppelstrangbrüche: Bedeutung des Single-strand annealing<br>- <i>Strahlenforschung</i> | 42 |
|-----------|---|----|

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

- |           |   |    |
|-----------|---|----|
| 02 S 8598 | Qualifikation und Erprobung von stoßdämpfenden Strukturen und Materialien zur Optimierung/Reduzierung der Beanspruchung von Verpackungen zur Entsorgung radioaktiver Reststoffe aus Stilllegung und Rückbau (QUEST) | 74 |
|-----------|---|----|