

## Fortschrittsbericht

# Forschungsvorhaben zum Förderkonzept „FORKA - Forschung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen“

Berichtszeitraum  
01. Januar - 30. Juni 2017

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

## Fortschrittsbericht

Forschungsvorhaben zum  
Förderkonzept „FORKA -  
Forschung für den Rückbau  
kerntechnischer Anlagen“

Berichtszeitraum  
01. Januar - 30. Juni 2017

Vom Bundesministerium  
für Bildung und Forschung  
geförderte Vorhaben

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



## Vorwort

*„Deutschland steht in den nächsten Jahrzehnten vor erheblichen Rückbau- und Entsorgungsaufgaben, die aus der Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung und aus früherer staatlicher Förderung kerntechnischer Entwicklungen resultieren.“*

(Auszug aus dem Förderkonzept „FORKA - Forschung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen“)

Mit dem Förderkonzept „FORKA - Forschung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen“ unterstützt das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) durch die Entwicklung, Optimierung und Erprobung anwendungsorientierter Technologien und Verfahren die Bewältigung der anstehenden Aufgaben.

Im Auftrag des BMBF informiert die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH halbjährlich über den Stand der im Rahmen von FORKA geförderten Forschungsprojekte. Dazu gibt sie eine eigene Fortschrittsberichtsreihe heraus. Jeder Fortschrittsbericht stellt eine Sammlung von Einzelberichten der geförderten Projekte dar, die von den Forschungsstellen selbst als Dokumentation ihres Arbeitsfortschritts in einheitlicher Form erstellt werden.

Berichte ab dem Jahr 2017 sind über die Webseite des Projektträgers GRS ([www.projekttraeger.grs.de](http://www.projekttraeger.grs.de)) öffentlich verfügbar. Auf Fortschrittsberichte aus früheren Jahren kann über die Webseite des Projektträgers Karlsruhe ([www.ptka.kit.edu/wte/](http://www.ptka.kit.edu/wte/)) zugegriffen werden.

Die inhaltliche Gliederung der Berichtssammlung orientiert sich an den fachlichen Schwerpunkten des Förderkonzeptes FORKA. Die Anordnung der einzelnen Berichte erfolgt nach aufsteigenden Förderkennzeichen.

Verantwortlich für den Inhalt der Fortschrittsberichte sind deren Verfasser. Die GRS übernimmt keine Gewähr insbesondere für Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter.



Förderkennzeichen	Themenbereich	Seite
<b>01.</b>	<b>Zerlegeverfahren</b>	
15S9093A	Verbundprojekt: Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen (DefAhS)	9
15S9093B	Verbundprojekt: Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen (DefAhS)	12
15S9093C	Verbundprojekt: Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen (DefAhS)	15
15S9093D	Verbundprojekt: Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen (DefAhS)	18
15S9134	Angepasstes Seilschleifen komplexer, metallischer Strukturen (Sekomet)	21
15S9286	Kontakterosives Abrichten mehrschichtiger Seilschleifwerkzeuge für die Stahlbeton- und Stahlbearbeitung (KESS)	24
<b>02.</b>	<b>Dekontaminationsverfahren und Gebäudefreigabe</b>	
15S9215A	Verbundprojekt: Laser-Dekontamination von Metall- und Betonoberflächen (LaPLUS)	27
15S9215B	Verbundprojekt: Laser-Dekontamination von Metall- und Betonoberflächen (LaPLUS)	30
15S9215C	Verbundprojekt: Laser-Dekontamination von Metall- und Betonoberflächen (LaPLUS)	33
<b>03.</b>	<b>Abfallbehandlung, Abfalldeklaration, Zwischenlagerung</b>	
15S9154	Verfahrensoptimierung mit Maßstabsvergrößerung zur Volumenreduktion / Beseitigung C-14-belasteter flüssiger Abfälle mittels elektrochemischer Totalmineralisation der organischen Inhaltsstoffe	35
15S9225A	Magnet-Separation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (MASK)	38
15S9225B	Magnet-Separation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (MASK)	41
15S9245	Identifizierung und Quantifizierung von Beta-Strahlern zur zerstörungsfreien Charakterisierung radioaktiver Abfallgebinde (IQ-Beta)	44

15S9266A Verbundprojekt: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS) 48

15S9266B Verbundprojekt: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS) 51

**04. Umwelt- und Strahlenschutz**

15S9194 Umsetzung von Schwermetall-Landfarming zur nachhaltigen Landschaftsgestaltung und Gewinnung erneuerbarer Energien auf radionuklidbelasteten Flächen (USER) 54

15S9276A Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa) 57

15S9276B Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa) 61

15S9276C Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa) 63

15S9276D Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa) 66

**05. Mensch und Organisation**

Keine Vorhaben im Berichtszeitraum.

**06. Querschnittsaufgaben und Sonstiges**

15S9082A Verbundprojekt: Bildung einer Forschungsplattform Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen (ENTRIA) 70

15S9082B Verbundprojekt: Bildung einer Forschungsplattform Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen (ENTRIA) 73

15S9082C	Verbundprojekt: Bildung einer Forschungsplattform Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen (ENTRIA)	76
15S9082D	Verbundprojekt: Bildung einer Forschungsplattform Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen (ENTRIA)	79
15S9082E	Verbundprojekt: Bildung einer Forschungsplattform Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen (ENTRIA)	82
15SWM2013	Wissensmanagement von Altdokumenten aus Forschung, Verwaltung, Betrieb	85





<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017		<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9093A	
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften Institut für Technologie und Management im Baubetrieb 76131 Karlsruhe			
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen (DefAhS)			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> von 01.10.2013 bis 30.09.2017		<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.040.856,00 €	
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes		<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> sascha.gentes@kit.edu	

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

In einer Kooperation des Karlsruher Instituts für Technologie (TMB und Mobima), der Leibniz Universität Hannover (IFW), der Kraftanlagen Heidelberg GmbH sowie der Herrenknecht AG wird im Rahmen des Verbundprojektes „Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen“ ein System zum definierten Abtrag hochbewehrter Stahlbetone bei gleichzeitiger Förderung und endlagergerechter Verpackung des Abraums entwickelt.

Der definierte Abtrag von Stahlbeton stellt insbesondere beim Rückbau von nuklearen Anlagen einen zentralen Punkt dar. Durch eine selektive Entnahme von kontaminiertem Material kann der überwiegende und unbelastete Anteil der Gesamtmasse wieder dem normalen Recyclingkreislauf zugeführt werden. Ein Problem besteht aktuell beim lokal begrenzten Tiefenabtrag von Stahlbetonen, z.B. bei Rissen oder Ausbrüchen, so dass die entstehenden Oberflächen im Anschluss freimessbar sind. Ein vielversprechender Ansatz zur Lösung dieser Problematik stellt ein kombiniertes Abtragwerkzeug dar, bei dem einerseits der Abtrag von unbewehrten Betonschichten mit Betonlamellen erfolgt. Andererseits werden bewehrte Bereiche mittels eines Fräsverfahrens im Trockenschnitt abgetragen. Durch die unmittelbare Aufnahme des Abbruchgutes und den Verzicht auf verschleppende Hilfsstoffe, kann eine Querkontamination der verbleibenden Strukturen vermieden werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Recherche zum Stand der Technik und Erarbeitung des Lastenheftes

AP 2: System zur präzisen Detektion metallischer Einbauten

AP 3: Schneidtechnologie Fräsen

AP 4: Schneidtechnologie Betonabtrag

AP 5: Spezifikation Trägersystem

AP 6: Steuerung und Trägergerät

AP 7: Herstellung Demonstrator

AP 8: In situ Testreihe

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

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im 1. Halbjahr 2017 wurden am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) zahlreiche Versuche am Prüfstand durchgeführt. Zu Beginn wurde noch an der Problematik mit der geringen Schnittbreite gearbeitet. Mithilfe von schräg gestellten äußeren Lamellen konnte dann die Schnittbreite im Beton entsprechend erhöht und das Problem gelöst werden.

In AP7 sind Betriebspunkte mit unterschiedlichen Parametern (Trommeldrehzahl, Vorschubgeschwindigkeit) auf ihre Funktionalität wie Abtrag und Verschleiß untersucht worden. Die Zustelltiefe wurde in diesem ersten Durchgang nicht variiert (konstant 3,5mm). Zusätzlich sind Messdaten aufgenommen und ausgewertet worden, um die Bearbeitungskräfte zu bestimmen. Die Bearbeitungskräfte in reinem Beton fallen sehr gering aus (max. 300N), da die meiste Kraft durch das Spiel der Lamellen von diesen aufgenommen wird. Lediglich beim Ein- und Austritt der Trommel in den Beton steigen die Bearbeitungskräfte an, da in diesen Bereichen mehr Materialkontakt besteht. Dem kann man entgegen wirken, indem der Vorschub beim Ein- und Austritt der Trommel entsprechend reduziert wird. Die Bearbeitungskräfte in Stahl sind deutlich höher. Es wurden maximale Werte von 5300N in Z-Richtung gemessen werden. Allerdings wurden hier noch nicht genügend Ergebnisse gesammelt. Die Messungen mussten unterbrochen werden, da es zu Problemen mit Vibrationen am Prüfstand kam. Mithilfe von Messungen mit der Highspeed-Kamera, Beschleunigungssensoren und Berechnungen konnten die Schwachstellen identifiziert werden. Es wird eine Versteifung des Prüfstands notwendig sein, um hier weitere Messungen für die Bearbeitung von Stahl durchführen zu können.

Gleichzeitig gab es immer wieder Probleme mit abbrechenden Wendeschneidplatten (WSP). Als Ursache werden entweder die Vibrationen am Prüfstand vermutet oder ein zu starkes Verschrauben der WSP mit dem Werkzeugblock. Die Ursache kann nach der Versteifung des Prüfstands ermittelt werden.

Die erste Bewehrungsschicht (quer zur Bearbeitungsrichtung) wurde freigelegt. Hierbei ist aufgefallen, dass der Beton zwischen zwei Bewehrungsstäben ungleichmäßig abgetragen wird. Als Maßnahme soll in Zukunft eine Materialbearbeitung in beide Richtungen erfolgen. Hierfür ist eine Hardwareänderung notwendig sowie eine Anpassung in der Steuerung.

### **4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)**

Im 2. Halbjahr 2017 ist die weitere Durchführung von Versuchen am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb geplant. Zuerst werden Betonversuche durchgeführt. Hierbei werden neue, verbesserte schräge äußere Lamellen auf ihre Funktion im reinen Beton getestet (AP7).

Die Detektion ist mit der neuen, verbesserten Absaugung in das Gesamtsystem integriert worden und muss nun hier auf ihre Funktion überprüft werden (AP2). Besonderes Augenmerk ist hierbei auf den Einfluss der Oberflächenrauigkeit der bearbeiteten Nut auf die Messgenauigkeit gelegt. Zusätzlich wird eine neue Technik zur Detektion untersucht. Durch die Verwendung von Radarsensoren soll dem Detektionssystem die Möglichkeit

gegeben werden, durch Sensordatenfusion das Detektionsergebnis zu verbessern. Entsprechend bleibt dann zu prüfen, ob bei induktiver Nahfeldsensorik die Reichweite zu Gunsten einer höheren Genauigkeit entsprechend reduziert werden kann. Ebenfalls sind die Quereinflüsse und Signalstreuungen zwischen den beiden Detektionssystemen zu untersuchen. Für das neue Radarsystem wird so die Verwendbarkeit unter den Betriebsbedingungen/ -umgebung der Fräse getestet. Unterstützt werden soll die Erprobung des Systems durch das Hochfrequenz Institut der Universität Dresden.

Parallel zu den Beton- und Detektionsversuchen wird der Prüfstand um eine Funktion erweitert, damit die Trommel in beide Richtungen drehen kann und das Material so in beide Richtungen bearbeitet werden kann, um die Bewehrungsstähe gleichmäßig frei zu legen. Hierfür sind eine Hardwareänderung an der Hydraulik sowie eine Änderung in der Steuerung (AP6) notwendig.

Nach den reinen Betonversuchen wird der Prüfstand versteift und anschließend die Stahlversuche durchgeführt (AP7). Hierfür sind weitere zahlreiche Messungen und Auswertungen der Bearbeitungskräfte notwendig, um die optimalen Betriebsparameter zu bestimmen.

Außerdem ist geplant, einen neuen Prüfkörper mit metallischen Einbauten (Ankerplatten, Schienen, Dübel, Rohre) herzustellen und zu diesen entsprechend zu testen (AP8).

## **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

keine

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Einreichung Paper für KONTEC

Vortrag KONTEC 22.-24.März 2017; Dresden

Vortrag AMNT am 16./17.Mai 2017; Berlin

Vortrag „Neue Entwicklungen im Strahlenschutz und ihre Anwendung in der Praxis“ am 22./23.06.2017 TÜV SÜD; München

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9093B
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Herrenknecht AG	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen (DefAhS)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2013 bis 30.09.2017	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 796.232,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Dipl.-Ing. (FH) Thomas Edelmann	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> edelmann.thomas@herrenknecht.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

In einer Kooperation des Karlsruher Instituts für Technologie (TMRK und Mobima), der Leibniz Universität Hannover (IFW), der Kraftanlagen Heidelberg GmbH sowie der Herrenknecht AG wird im Rahmen des Verbundprojektes „Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen“ ein System zum definierten Abtrag hochbewehrter Stahlbetone bei gleichzeitiger Förderung und endlagergerechter Verpackung des Abraums entwickelt.

Der definierte Abtrag von Stahlbeton stellt insbesondere beim Rückbau von nuklearen Anlagen einen zentralen Punkt dar. Durch eine selektive Entnahme von kontaminiertem Material kann der überwiegende und unbelastete Anteil der Gesamtmasse wieder dem normalen Recyclingkreislauf zugeführt werden. Ein Problem besteht aktuell beim lokal begrenzten Tiefenabtrag von Stahlbetonen, z.B. bei Rissen oder Ausbrüchen, so dass die entstehenden Oberflächen im Anschluss freimessbar sind. Ein vielversprechender Ansatz zur Lösung dieser Problematik stellt ein kombiniertes Abtragswerkzeug dar, bei dem einerseits der Abtrag von unbewehrten Betonschichten mit Hartmetall Betonlamellen erfolgt. Andererseits werden bewehrte Bereiche mittels eines Fräsverfahrens im Trockenschnitt abgetragen. Durch die unmittelbare Aufnahme des Abbruchgutes und den Verzicht auf verschleppende Hilfsstoffe, kann eine Querkontamination der verbleibenden Strukturen vermieden werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1: Recherche zum Stand der Technik und Erarbeitung des Lastenheftes
- AP 2: System zur präzisen Detektion metallischer Einbauten
- AP 3: Schneidtechnologie Fräsen
- AP 4: Schneidtechnologie Betonabtrag
- AP 5: Spezifikation Trägersystem
- AP 6: Steuerung und Trägergerät
- AP 7: Herstellung Demonstrator
- AP 8: In situ Testreihe

### **3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Das erste Halbjahr 2017 war inhaltlich geprägt durch die Bearbeitung der Arbeitspakete AP3, AP4, AP5 und AP6 sowie den damit verbundenen Zuarbeiten der Projektpartner.

Der Hauptfokus der Herrenknecht AG lag im Berichtszeitraum auf der weiteren Bearbeitung von AP3 und AP4 (Schneidtechnologie Fräsen und Betonabtrag), welcher sich alleinig auf der Entwicklung einer Schneidtechnologie zum Stahlbetonabtrag beschränkt.

Im letzten Halbjahr 2016 zeigten die ersten Versuche am konstruierten Demonstrator eine zu schmale Abtragsbreite in reinem Beton. Es wurden verschiedene Maßnahmen zur Vergrößerung der Abtragsbreite umgesetzt und getestet. Durch das Neigen der äußeren Betonlamellen konnte die erwünschte Abtragsbreite erreicht werden. Gleichzeitig wurde die Absaugung für den Materialabtransport angepasst.

Danach wurden die ersten Schnitte im Stahlbeton durchgeführt. Diese sind vielversprechend. Allerdings sind Schwingungen durch die reduzierte Drehzahl im Stahlbeton aufgetreten. Hierdurch kommt es zu Schwankungen in der Eingriffsbreite und erhöhtem Verschleiß der Wendeschneidplatten. Daher wurde entschieden die Versuchsstandstruktur zu versteifen, bevor weitere Versuche im Stahlbeton realisiert werden.

In diesem Zeitraum wurden die im Versuchsplan vorgesehenen Versuche in reinem Beton durchgeführt. Eine höhere Drehzahl ergibt bessere Abtragungsergebnisse. Aber beim Vorhandensein von Bewehrungsstäben würden eine zu hohe Drehzahl zu Beschädigungen an den Betonlamellen führen.

Parallel dazu wurden die Konzepte zum Prototyp weiterhin ausgearbeitet und die aus heutiger Sicht kritischsten Punkte, wie Kraftübertragung auf die Bauwerksstruktur, detailliert betrachtet. Ein erster Vorschlag wurde erarbeitet und dient als Grundlage für die Ausarbeitung des Arbeitspakets AP5. Weiterhin wurde die Definition der Schnittstelle zwischen dem Werkzeugsystem und dem Positioniergerät festgelegt.

Der Herrenknecht AG obliegt die Gesamtprojektleitung, woraus sich während der gesamten Projektdauer übergreifende und organisatorische Aufgaben ergaben.

### **4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im zweiten Halbjahr 2017 wird hardwaretechnisch als auch softwaretechnisch die Möglichkeit einer Drehrichtungsumkehr für die Frästrommel implementiert, um den Betonabtrag zwischen den Bewehrungsstäben zu optimieren. Die Versuchsstandstruktur zur Demonstration der Schneidtechniken wird zur Erhöhung der Gesamtsystemsteifigkeit angepasst, um prozessinduzierte Schwingungen bei niedrigen Drehzahlen zu beseitigen. Weitere Versuche werden in reinem Beton durchgeführt und der Versuchsplan im Stahlbeton wird nach Modifikation der Versuchsstandstruktur abgearbeitet.

Der Versuchsstand wird nach erfolgreichen Versuchsdurchführungen um 90° gekippt, um eine Wandbearbeitung zu untersuchen (bisher nur Bodenbearbeitung).

Parallel dazu werden Konzepte zur Verbesserung der Materialabtransport ausgearbeitet, welche am Prototyp umgesetzt werden können. Somit sind die im Arbeitspaket AP7 spezifizierten Demonstrationen des Schneidprinzips zusammen integriert.

## **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

keine

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Das Projekt und aktuelle Ergebnisse wurden:

- auf der KONTEC 2017 „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ (22.-24.03.2017, Dresden),
- auf dem AMNT 2017 „Annual Meeting on Nuclear Technology“ (16.-17.05.2017, Berlin),
- auf dem vom TÜV SÜD organisierten Seminar „Neue Entwicklungen im Strahlenschutz und ihre Anwendung in der Praxis“ (22.-23.06.2017, München)

vorgelegt.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9093C
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Leibniz Universität Hannover, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen (DefAHS)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2013 bis 30.09.2017	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 602.460,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> denkena@ifw.uni-hannover.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

In einer Kooperation des Karlsruher Instituts für Technologie (TMRK und Mobima), der Leibniz Universität Hannover (IFW), der Kraftanlagen Heidelberg GmbH sowie der Herrenknecht AG wird im Rahmen des Verbundprojektes „Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen“ ein System zum definierten Abtrag hochbewehrter Stahlbetone bei gleichzeitiger Förderung und endlagergerechter Verpackung des Abraums entwickelt.

Der definierte Abtrag von Stahlbeton stellt insbesondere beim Rückbau von nuklearen Anlagen einen zentralen Punkt dar. Durch eine selektive Entnahme von kontaminiertem Material kann der überwiegende und unbelastete Anteil der Gesamtmasse wieder dem normalen Recyclingkreislauf zugeführt werden. Ein Problem besteht aktuell beim lokal begrenzten Tiefenabtrag von Stahlbetonen, z.B. bei Rissen oder Ausbrüchen, so dass die entstehenden Oberflächen im Anschluss freimessbar sind. Ein vielversprechender Ansatz zur Lösung dieser Problematik stellt ein kombiniertes Abtragwerkzeug dar, bei dem einerseits der Abtrag von unbewehrten Betonschichten mit hartmetallbesetzten Schlaglamellen erfolgt. Andererseits werden bewehrte Bereiche mittels eines Fräsverfahrens im Trockenschnitt abgetragen. Durch die unmittelbare Aufnahme des Abbruchgutes und den Verzicht auf verschleppende Hilfsstoffe, kann eine Querkontamination der verbleibenden Strukturen vermieden werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1: Recherche zum Stand der Technik und Erarbeitung des Lastenheftes
- AP 2: System zur präzisen Detektion metallischer Einbauten
- AP 3: Schneidtechnologie Fräsen
- AP 4: Schneidtechnologie Betonabtrag
- AP 5: Spezifikation Trägersystem
- AP 6: Steuerung und Trägergerät
- AP 7: Herstellung Demonstrator
- AP 8: In situ Testreihe



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

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Einsatzversuche der in AP3 und AP4 entwickelten Schneidstrategien auf dem am KIT aufgebauten Versuchstand haben zwei Probleme beim kombinierten Einsatz der entwickelten Prozesse in einem Werkzeug aufgezeigt. Zum einen haben die Versuche gezeigt, dass die äußersten Schlaglamellen durch eine Abdrängung am Nutrand den Beton nicht sicher abtragen. Hieraus resultiert eine Verengung der gefertigten Nut mit steigender Nuttiefe. Diese Verengung führt dazu, dass die für den Stahlschnitt vorgesehenen Wendeschneidplatten im Randbereich in Kontakt mit Beton kommen. Daraus folgt verstärkter Verschleiß der Wendeschneidplatten. Der schnell voranschreitende Verschleiß senkt zudem die Prozesssicherheit, da es schneller zum Bruch einzelner Wendeschneidplatten kommen kann.

Diese Problematik konnte durch die von Herrenknecht entwickelten, schräg angestellten Lamellen weitestgehend behoben werden. Die äußersten Lamellen werden in Richtung Nutwand angestellt und in dieser Richtung fixiert. Dadurch werden Abdrängungen senkrecht zur Nutwand verhindert und ein Abtrag im Randbereich gewährleistet. Der Nachweis, dass dadurch der Bruch der Wendeschneidplatten verhindert und die Prozesssicherheit gewährleistet werden kann, muss noch erbracht werden.

Weiterhin konnten Schwingungen im Kraftsignal identifiziert werden. Diese treten besonders bei der Stahlbearbeitung in den Vordergrund, da zum einen die Zahneingriffsfrequenz im Bereich der festgestellten Schwingungsfrequenz (17 Hz) liegt und zum anderen die Prozesskräfte und damit die Anregungskraft wesentlich größer sind als während der reinen Betonbearbeitung. Dies konnte durch eine Modalanalyse des Versuchstandes mittels FEM bestätigt werden. Hierbei konnten zwei Eigenfrequenzen des Systems bei 17 Hz und 26 Hz identifiziert werden. Die Eigenschwingform der 17 Hz Frequenz führt zu einer variierenden radialen Eingriffsbreite des Werkzeugs. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde beschlossen den Versuchstand zu versteifen um diese Schwingungsamplituden zu verringern, bzw. die entsprechenden Eigenfrequenzen zu erhöhen. Diese Arbeiten werden aktuell von Herrenknecht und dem KIT durchgeführt.

### **4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)**

Um den Einfluss der schwankenden Eingriffsbreite auf den Verschleiß der Wendeschneidplatten genauer zu untersuchen, werden in Laborversuchen erneut Untersuchungen in Stahl durchgeführt. Variiert wird die Eingriffsbreite und Schnittgeschwindigkeit in Einzahnfräsversuchen. Ziel ist die Kenntnis des Einflusses der Prozessstellgrößen auf das Auftreten von Schneidkantenausbrüchen an den eingesetzten Wendeschneidplatten.

Aufgrund der oben beschriebenen Störungen des Abtragsprozesses steht die geplante Übertragung der Laborergebnisse noch aus. Hierzu werden die Prozessstellgrößen und Schneidstoffe, die sich in den Laborversuchen am geeignetsten zeigten, in Einsatzversuchen auf den am KIT-aufgebauten Versuchstand eingesetzt. Dazu wird jeweils ein Satz der Werkzeuge, die das beste Einsatzverhalten bei der Verbundbearbeitung aufwiesen, und ein Satz für die reine Stahlbearbeitung beschafft. Diese Werkzeuge werden auf der von

Herrenknecht gefertigten Frästrommel eingesetzt, um die Ergebnisse der Laborversuche zu validieren und auf den kombinierten Einsatz mit den Schlaglamellen zu übertragen.

## **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

keine

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Denkena, B., Grove, T., Hess, U., Geimer, M., Engelmann, D., Gentes, S., Kaiser, S., Edelmann, T., Cousseau, F., Braun, J., Kisling, M.: (2017): 13th International Symposium „Conditioning of Radioactive Operational & Decommissioning Wastes“ (KONTEC), 23.03.2017, Dresden

Edelmann, T., Cousseau, F., Kisling, M., Braun, J., Gentes, S., Kaiser, S., Geimer, M., Engelmann, D., Denkena, B., Hess, U.: (2017): Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen (DefAhS), 48th Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT), 16. - 17.05.2017, Berlin

Kaiser, S., Hess, U., Cousseau, F., Braun, J., Engelmann, D.: „Neue Entwicklungen im Strahlenschutz und ihre Anwendung in der Praxis“ am 22./23.06.2017 TÜV SÜD; München

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9093C
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Leibniz Universität Hannover, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen (DefAHS)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2013 bis 30.09.2017	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 602.460,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> denkena@ifw.uni-hannover.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

In einer Kooperation des Karlsruher Instituts für Technologie (TMRK und Mobima), der Leibniz Universität Hannover (IFW), der Kraftanlagen Heidelberg GmbH sowie der Herrenknecht AG wird im Rahmen des Verbundprojektes „Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen“ ein System zum definierten Abtrag hochbewehrter Stahlbetone bei gleichzeitiger Förderung und endlagergerechter Verpackung des Abraums entwickelt.

Der definierte Abtrag von Stahlbeton stellt insbesondere beim Rückbau von nuklearen Anlagen einen zentralen Punkt dar. Durch eine selektive Entnahme von kontaminiertem Material kann der überwiegende und unbelastete Anteil der Gesamtmasse wieder dem normalen Recyclingkreislauf zugeführt werden. Ein Problem besteht aktuell beim lokal begrenzten Tiefenabtrag von Stahlbetonen, z.B. bei Rissen oder Ausbrüchen, so dass die entstehenden Oberflächen im Anschluss freimessbar sind. Ein vielversprechender Ansatz zur Lösung dieser Problematik stellt ein kombiniertes Abtragwerkzeug dar, bei dem einerseits der Abtrag von unbewehrten Betonschichten mit hartmetallbesetzten Schlaglamellen erfolgt. Andererseits werden bewehrte Bereiche mittels eines Fräsverfahrens im Trockenschnitt abgetragen. Durch die unmittelbare Aufnahme des Abbruchgutes und den Verzicht auf verschleppende Hilfsstoffe, kann eine Querkontamination der verbleibenden Strukturen vermieden werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1: Recherche zum Stand der Technik und Erarbeitung des Lastenheftes
- AP 2: System zur präzisen Detektion metallischer Einbauten
- AP 3: Schneidtechnologie Fräsen
- AP 4: Schneidtechnologie Betonabtrag
- AP 5: Spezifikation Trägersystem
- AP 6: Steuerung und Trägergerät
- AP 7: Herstellung Demonstrator
- AP 8: In situ Testreihe

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

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Einsatzversuche der in AP3 und AP4 entwickelten Schneidstrategien auf dem am KIT aufgebauten Versuchstand haben zwei Probleme beim kombinierten Einsatz der entwickelten Prozesse in einem Werkzeug aufgezeigt. Zum einen haben die Versuche gezeigt, dass die äußersten Schlaglamellen durch eine Abdrängung am Nutrand den Beton nicht sicher abtragen. Hieraus resultiert eine Verengung der gefertigten Nut mit steigender Nuttiefe. Diese Verengung führt dazu, dass die für den Stahlschnitt vorgesehen Wendeschneidplatten im Randbereich in Kontakt mit Beton kommen. Daraus folgt verstärkter Verschleiß der Wendeschneidplatten. Der schnell voranschreitende Verschleiß senkt zudem die Prozesssicherheit, da es schneller zum Bruch einzelner Wendeschneidplatten kommen kann.

Diese Problematik konnte durch die von Herrenknecht entwickelten, schräg angestellten Lamellen weitestgehend behoben werden. Die äußersten Lamellen werden in Richtung Nutwand angestellt und in dieser Richtung fixiert. Dadurch werden Abdrängungen senkrecht zur Nutwand verhindert und ein Abtrag im Randbereich gewährleistet. Der Nachweis, dass dadurch der Bruch der Wendeschneidplatten verhindert und die Prozesssicherheit gewährleistet werden kann, muss noch erbracht werden.

Weiterhin konnten Schwingungen im Kraftsignal identifiziert werden. Diese treten besonders bei der Stahlbearbeitung in den Vordergrund, da zum einen die Zahneingriffsfrequenz im Bereich der festgestellten Schwingungsfrequenz (17 Hz) liegt und zum anderen die Prozesskräfte und damit die Anregungskraft wesentlich größer sind als während der reinen Betonbearbeitung. Dies konnte durch eine Modalanalyse des Versuchstandes mittels FEM bestätigt werden. Hierbei konnten zwei Eigenfrequenzen des Systems bei 17 Hz und 26 Hz identifiziert werden. Die Eigenschwingform der 17 Hz Frequenz führt zu einer variierenden radialen Eingriffsbreite des Werkzeugs. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde beschlossen den Versuchstand zu versteifen um diese Schwingungsamplituden zu verringern, bzw. die entsprechenden Eigenfrequenzen zu erhöhen. Diese Arbeiten werden aktuell von Herrenknecht und dem KIT durchgeführt.

### **4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Um den Einfluss der schwankenden Eingriffsbreite auf den Verschleiß der Wendeschneidplatten genauer zu untersuchen, werden in Laborversuchen erneut Untersuchungen in Stahl durchgeführt. Variiert wird die Eingriffsbreite und Schnittgeschwindigkeit in Einzahnfräsversuchen. Ziel ist die Kenntnis des Einflusses der Prozessstellgrößen auf das Auftreten von Schneidkantenausbrüchen an den eingesetzten Wendeschneidplatten.

Aufgrund der oben beschriebenen Störungen des Abtragsprozesses steht die geplante Übertragung der Laborergebnisse noch aus. Hierzu werden die Prozessstellgrößen und Schneidstoffe, die sich in den Laborversuchen am geeignetsten zeigten, in Einsatzversuchen auf den am KIT-aufgebauten Versuchstand eingesetzt. Dazu wird jeweils ein Satz der Werkzeuge, die das beste Einsatzverhalten bei der Verbundbearbeitung aufwiesen, und ein Satz für die reine Stahlbearbeitung beschafft. Diese Werkzeuge werden auf der von

Herrenknecht gefertigten Frästrommel eingesetzt, um die Ergebnisse der Laborversuche zu validieren und auf den kombinierten Einsatz mit den Schlaglamellen zu übertragen.

## **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

keine

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Denkena, B., Grove, T., Hess, U., Geimer, M., Engelmann, D., Gentes, S., Kaiser, S., Edelmann, T., Cousseau, F., Braun, J., Kisling, M.: (2017): 13th International Symposium „Conditioning of Radioactive Operational & Decommissioning Wastes“ (KONTEC), 23.03.2017, Dresden

Edelmann, T., Cousseau, F., Kisling, M., Braun, J., Gentes, S., Kaiser, S., Geimer, M., Engelmann, D., Denkena, B., Hess, U.: (2017): Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen (DefAhS), 48th Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT), 16. - 17.05.2017, Berlin

Kaiser, S., Hess, U., Cousseau, F., Braun, J., Engelmann, D.: „Neue Entwicklungen im Strahlenschutz und ihre Anwendung in der Praxis“ am 22./23.06.2017 TÜV SÜD; München

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9134
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Leibniz Universität Hannover, Welfengarten 1, 30167 Hannover	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Angepasstes Seilschleifen komplexer, metallischer Strukturen (Sekomet)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.09.2014 bis 31.08.2017	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 438.882,00 €
<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena	<b>E-Mail-Adresse des Projektleiters:</b> denkena@ifw.uni-hannover.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Rückbau kerntechnischer Anlagen wird das Seilschleifen aufgrund seiner Flexibilität im Hinblick auf Bauteilgeometrie und -zusammensetzung zunehmend eingesetzt. Das Trennen nichtmassiver, metallischer Strukturen, wie z. B. Wärmeübertrager oder Dampftrockner, stellt das neueste Anwendungsgebiet dieses spanenden Fertigungsverfahrens dar. Die Prozesssicherheit ist bei diesen Anwendungsfällen jedoch nicht gegeben. In mehr als einem Drittel der Einsatzfälle kommt es zu einem vorzeitigen Komplettversagen des Werkzeugs durch Verhaken oder Reißen. Diese Effekte sind auf die mangelnde Kenntnis geeigneter Prozessstellgrößen in Kombination mit den Eingriffsbedingungen und den Rahmenbedingungen im Rückbau kerntechnischer Anlagen zurückzuführen. Bisher in der Praxis eingesetzte Strategien zur Erhöhung der Prozesssicherheit waren entweder nicht zielführend oder gingen mit einer reduzierten Effizienz des Prozesses einher.

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist, die Prozesssicherheit und Effizienz beim trockenen Einsatz der Seilschleiftechnologie an nichtmassiven, metallischen Strukturen durch ein gesteigertes Prozessverständnis und daraus abgeleitete Prozessanpassungen sowie ein innovatives Werkzeugdesign so zu erhöhen, dass ein einzelner Schnitt ohne Werkzeugversagen durchgeführt werden kann.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1: Versuchsplanung und -vorbereitung
- AP 2: Einsatzuntersuchungen an nicht-massiven, metallischen Strukturen unter Variation der Prozessstellgrößen
- AP 3: Einsatzuntersuchungen an nicht-massiven, metallischen Strukturen unter Variation der werkzeugseitigen Systemgrößen
- AP 4: Anforderungsprofil und Konzept für ein an die Bearbeitung nicht-massiver, metallischer Strukturen angepasstes Seilschleifwerkzeug
- AP 5: Herstellung eines ideal an die Bearbeitung nicht-massiver, metallischer Strukturen angepassten Seilschleifwerkzeugs
- AP 6: Einsatzuntersuchungen mit neuartigen Seilschleifwerkzeugen an nicht-massiven, metallischen Strukturen

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

#### *AP 2 und AP 3:*

Die schleiftechnologischen Untersuchungen unter Variation der Prozesseingangsgrößen wurden abgeschlossen. Auf der Basis der experimentellen Erkenntnisse ist ein Prozessmodell entwickelt worden, anhand dessen das Werkzeugverschleißverhalten über die Prozesskinematik und die thermomechanische Werkzeugbeanspruchung auf die Prozesseingangsgrößen zurückgeführt werden kann. In Analogieuntersuchungen ist eine thermische Prozessgrenze in Bezug auf die Ummantelung definiert worden. Werkzeugtemperaturen oberhalb von 100 °C führen zu einem exponentiellen Anstieg der Werkzeugsteifigkeit, die durch eine thermische Verfestigung der Ummantelung verursacht wird. Es konnte gezeigt werden, dass der mikroskopische Kornverschleiß von der Beanspruchungshäufigkeit abhängt. Ein hoher makroskopischer Verschleiß zu Beginn der Schleifbearbeitung resultiert aus der initialen Einebnung der Schleifsegmenttopographie. Das Ende der Werkzeuglebensdauer wird durch ein Versagen des Werkzeugaufbaus erreicht, obwohl die Schleifsegmente weiterhin Werkstoff zerspanen könnten.

#### *AP 4:*

Anhand der Erkenntnisse des Projekts wurden zwei Werkzeugprototypen konzeptioniert. Für das erste Werkzeugkonzept wird der Werkstoff der Ummantelung durch ein thermisch stabileres Polyurethan-Elastomer ersetzt, während die Schleifsegmente nicht verändert werden. Bei dem zweiten Werkzeugkonzept wird das herkömmliche Gummi als Ummantelung eingesetzt, um angepasste Schleifsegmente mit dem Trägerseil zu verbinden. Hierbei wird eine geringere Kontaktfläche bei gleichbleibender Segmentanzahl durch eine reduzierte Schleifsegmentlänge erreicht.

#### *AP 5:*

Das prototypische Werkzeugkonzept mit der Polyurethan-Elastomer-Ummantelung ist von Firma Husqvarna hergestellt worden.

### **4. Geplante Weiterarbeit**

#### *AP 5:*

Derzeit wird das zweite Werkzeugkonzept mit angepassten Schleifsegmenten von Firma Husqvarna hergestellt.

#### *AP 6:*

Die prototypischen Werkzeugkonzepte werden auf ihre Eignung für das trockene Trennen nicht-massiver Stahlstrukturen untersucht. Vor dem Hintergrund des Rückbaus kerntechnischer Anlagen wird dabei besonderes Augenmerk auf die Werkzeuglebensdauer gelegt. Eine Zusammenführung beider Werkzeugkonzepte bei positivem Einsatzverhalten wird angestrebt.

### **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

keine

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

*Denkena, B., Grove, T., Tatzig, L.:* Mechanical and thermal tool loads in dry diamond wire sawing of steel, Proceedings of 13th International Symposium „Conditioning of Radioactive Operational & Decommissioning Wastes“ (KONTEC), 22.-24.03.2017, Dresden, S. 324 - 330.

*Denkena, B., Grove, T., Tatzig, L.:* Mechanical and thermal tool loads in dry diamond wire sawing of steel, Vortrag beim 13th International Symposium „Conditioning of Radioactive Operational & Decommissioning Wastes“ (KONTEC), 23.03.2017, Dresden



<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 02S9286
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Leibniz Universität Hannover - Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Kontakterosives Abrichten mehrschichtiger Seilschleifwerkzeuge für die Stahlbeton- und Stahlbearbeitung (KESS)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.09.2016 bis 31.08.2019	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 512.976,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> denkena@ifw.uni-hannover.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des beantragten Forschungsvorhabens ist es, mehrschichtige Schleifperlen für das Seilschleifen im Rückbau kerntechnischer Anlagen zu qualifizieren und die Zerlegung der Anlagen produktiver zu gestalten. Aufgrund des fehlenden Selbstschärfeeffekts kommen im Gegensatz zur Gesteinsbearbeitung bei der Trennung von Metall heute lediglich einschichtige Schleifperlen zum Einsatz. Mehrschichtige Perlen haben aufgrund der Mehrzahl an Kornlagen Standzeitvorteile, müssen jedoch bei der Metallbearbeitung gezielt abgerichtet werden. Aufgrund der Metallbindung der Perlen bietet sich hierfür das kontaktersive Abrichten (ECDD - Electro Contact Discharge Dressing) an. Mit diesem Verfahren kann die Bindung zurückgesetzt werden, sodass neue, scharfe Körner in den Eingriff gelangen. Die Leistungsfähigkeit des Seilschleifens beim trockenen Einsatz an metallischen Strukturen soll auf diese Weise erhöht werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

### *AP 1 Anforderungsprofil ECDD-Einheit*

Es werden zunächst die Rahmenbedingungen definiert, die beim Einsatz des kontaktersiven Schärfverfahrens für das Seilschleifen metallischer Strukturen zu beachten sind.

### *AP 2 Entwicklung, Bau und Applikation der ECDD-Einheit*

Darauf aufbauend folgt die Entwicklung, Konstruktion und der Aufbau der kontaktersiven Abrichteinheit.

### *AP 3 Inbetriebnahme, Stellgrößenuntersuchungen*

Bei der Inbetriebnahme werden die Einflüsse der Schärfprozessstellgrößen auf das Abrichterergebnis untersucht.

### *AP 4 Vergleichs- und Einsatzuntersuchungen*

Bestimmung des Einsatz- und Standzeitverhaltens von konventionellen einschichtigen sowie mittels ECDD geschärften mehrschichtigen Werkzeugen.

*AP 5 Spezifikation und Herstellung des Prototyps*

Über Anpassungen der Bindungszusammensetzung der Schleifperlen wird angestrebt, die Effektivität des ECDD zu maximieren und ein optimales Abrichtergebnis zu erzielen.

*AP 6 Prototypische Umsetzung der Ergebnisse*

Abschließend wird das neue Verfahren an im Rückbau üblichen Stahlwerkstoffen eingesetzt und mit einem konventionellen Seilschleifprozess verglichen.

**3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse**

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

*AP 2:*

Die Konstruktion der ECDD-Abrichteinheit ist erfolgt. Die hierfür benötigten Antriebskomponenten der Fa. PI - Physik Instrumente sind geliefert und für den Einsatz mit einem angepassten Schutzgehäuse versehen worden.

*AP 3:*

Die Grundlagenversuche zur Stromführung beim kontaktersiven Abrichten von Seilschleifperlen wurden erfolgreich durchgeführt. Die dafür benötigten Elektroden wurden durch die Fa. GTD Graphit Technologie GmbH zur Verfügung gestellt. Die Stromführung wurde über drei verschiedene Versuchsaufbauten auf Tauglichkeit überprüft. Die Kombination aus einer positiv geladenen Drahtbürste zur Stromeinleitung in das Seil und einer negativ geladenen Graphitelektrode für den Abrichtvorgang funktioniert, wird jedoch aufgrund des erhöhten Verschleißes der Seilgummierung an der Drahtbürste nicht weiter verfolgt. Eine elektrisch leitende Oberfläche zur Stromeinleitung über die Umlenkrollen wies zu hohen Verschleiß auf. Der Einsatz von zwei gegensätzlich gepolten Elektroden, die über eine Isolierschicht voneinander getrennt sind, führt zu einem stabilen Abrichtprozess. Die Doppelektrode wird dem Seil dabei direkt auf der Umlenkrolle zugeführt, um den negativen Einfluss der Seilschwingungen zu eliminieren.

Für die Durchführung der Versuchsreihen zum Einfluss der Prozessstellgrößen wurde ein Netzgerät der Firma EA – Elektro-Automatik beschafft. Dieses ermöglicht die Untersuchung eines breiten Spektrums der Einflussgrößen Stromstärke und –spannung. Vor den Abrichtversuchen wurden die Seile auf einen einheitlichen Verschleißzustand gebracht, der sowohl über den verbleibenden Kornüberstand von ca. 25 µm, als auch über die erreichten Schnitttiefen unter gleichen Voraussetzungen in einem Werkstück aus C45-Stahl definiert wurde. Der Kornüberstand konnte unter Einsatz der Doppelelektroden von 25 µm auf 80 µm erhöht werden. Diese Werte wurden über das Vermessen von jeweils 10 Schleifperlen gemittelt. Der Schärfprozess ist somit als erfolgreich zu bewerten.

**4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)**

*AP 3:*

Es wird noch eine Versuchsreihe nachgefahren, bei der die Stromeinleitung direkt über das zu zerspanende Werkstück erfolgt. Diese In-Prozess-Schärfung wird mit den bereits durchgeführten Versuchen in Relation gesetzt.

Die kontaktersiv geschärften Seile werden im nächsten Schritt erneut zum Trennschleifen eingesetzt und die erreichten Schnitttiefen mit denen der unverschlissenen Seile verglichen.

Außerdem wird über einen vollfaktoriellen Versuchsplan der Einfluss der Elektrodenvorschubgeschwindigkeit und der dabei eingesetzten Spannung ausgearbeitet, um bestmögliche Parameter für den weiteren Projektverlauf zu erhalten.

*AP 4:*

Es werden Referenzversuche zu Standzeiten und Einsatzverhalten von ein- und mehrschichtigen Seilschleifwerkzeugen durchgeführt, um die Grundlagen für AP4 zu erarbeiten.

## **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

Uns sind zurzeit keine Vorhaben bekannt, die sich mit dem Schärfen von Seilschleifwerkzeugen beschäftigen.

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Es wurden bisher keine Ergebnisse veröffentlicht.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017		<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9215A
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden		
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt LaPLUS: Laser-Dekontamination von Beton- und Metalloberflächen		
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2015 bis 31.07.2018	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 670.982,00 €	
<b>Projektleiter/-in:</b> PD Dr.-Ing Wolfgang Lippmann	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> wolfgang.lippmann@tu-dresden.de	

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt LaColor ist vorgesehen, die erprobte Lasertechnologie zum Abtragen PCB-haltiger Dekontlacke in Richtung eines praxisnah einsetzbaren Laserarbeitskopfes mit kontinuierlichem Laserstrahl fortzuführen. Ziel ist es, das Gesamtsystem so zu qualifizieren, dass es die Anforderungen des nuklearen Rückbaus erfüllt. Dazu ist es ergänzend erforderlich, das in LaColor entwickelte Online-Monitoring (LIF) Verfahren zur qualitativen Überwachung des Dekontaminationserfolges zu miniaturisieren und für den Einsatz vor Ort zu ertüchtigen. Die Experimente im Rahmen des Projektes LaColor zeigten darüber hinaus die Möglichkeit unter Nutzung neuartiger Faser-Laser-Systeme eine großflächige Reinigung radioaktiv und chemisch-toxisch kontaminierter Oberflächen effizient und mit minimalem Sekundärabfall durchzuführen. Innovativ ist hier vor allem die von der Fokusslage der Laserstrahlung unabhängige Prozessführung, was auch ermöglicht komplex geformte Oberflächen in einem Prozessschritt zu säubern, wodurch die Handhabung des Reinigungssystems außerordentlich vereinfacht wird. Weiterhin liegt ein Schwerpunkt auf der Entwicklung des angepassten Absaug- und Filtersystems.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- TUD-1: Literaturrecherche und Auswertung, Status: abgeschlossen
- TUD-2: Planung, Bau und Inbetriebnahme des angepassten Systems zur chemisch-toxischen Dekontamination, Status: abgeschlossen
- TUD-3: Durchführung von Laborversuchen unter realitätsnahen Verhältnissen zur Laserdekontamination chemisch-toxisch belasteter Betonstrukturen, Status: in Bearbeitung
- TUD-4: Planung, Bau und Inbetriebnahme des angepassten Systems zur Laserdekontamination metallischer Oberflächen, Status: abgeschlossen
- TUD-5: Durchführung von Laborversuchen unter realitätsnahen Verhältnissen zur Laserdekontamination metallischer Oberflächen, Status: in Bearbeitung
- TUD-6: Durchführung von Versuchen an PCB-lackierten Originalwänden (z. B. MZFR), Status: nicht begonnen
- TUD-7: Durchführung von Versuchen an metallischen Oberflächen der WAK, Status: in Bearbeitung
- TUD-8: Initiierung einer integralen Technik-Folge-Abschätzung für den nuklearen Rückbau, Status: nicht begonnen

TUD-9: Anfertigen des Abschlussberichts, Status: nicht begonnen

### **3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

*TUD 1:* Die Ermittlung eines geeigneten Lasers für den Abtrag von metallischen Oberflächen wurde mit der Entscheidung für einen Nd:YAG-Laser (fasergeführt) erfolgreich beendet. Die grundlegenden Gefährdungspotentiale von PCB und radioaktiver Kontamination wurden ermittelt und werden bei der Auswahl geeigneter Filter berücksichtigt. Für die im Rückbau dominanten Werkstoffe ferritischer Stahl (z.B. 1.0038 oder verzinkt nach DIN 10327) und austenitischer Stahl (z.B. 1.4301) sind die für den Laserabtrag relevanten Werkstoffeigenschaften ermittelt worden. Neben den grundlegenden Eigenschaften, wie chemische Zusammensetzung, Schmelz- und Siedepunkt sind auch die optischen Eigenschaften wie Reflexions- und Absorptionskoeffizient identifiziert worden. Das Arbeitspaket ist abgeschlossen.

*TUD 2:* Das gemeinsam mit IABG entwickelte modulare Konzept für den Arbeitskopf für die Betondekontamination wurde durch IABG in Fertigungszeichnungen überführt und auf dieser Basis an der TU Dresden gefertigt. Die Fertigung umfasst alle Komponenten des Arbeitskopfes als auch die Beschaffung der notwendigen Anbauteile für den Betrieb. Die Schnittstelle zum miniaturisierten LIF-System der TU Bergakademie Freiberg wurde angepasst. Mit der gewählten Lösung ist eine Online-Messung der Chlorradikale als Zersetzungsprodukt des PCBs während der Laserdekontamination möglich. Die Bearbeitung komplexer Wandgeometrien ist durch variable Aufsätze an den Arbeitskopf ohne Gefahr der Freisetzung toxischer Stoffe möglich. Der Arbeitskopf wurde in den Gesamtaufbau des Dekont-Versuchsstandes erfolgreich integriert. Der Aufbau des Versuchsstandes mit der Absaug- und Filtereinheit, dem Laser mit Arbeitskopf sowie der notwendigen Messtechnik ist abgeschlossen. Zur in situ Prozesscharakterisierung werden Thermolemente im Arbeitskopf und Abgasstrang, Drucksensoren und ein Durchflussmessgerät im Abgasstrang eingesetzt. Darüber hinaus sind optische Verfahren, wie z.B. Video- und Thermokamera im Einsatz. Das Arbeitspaket ist abgeschlossen.

*TUD-3:* Der Gesamtversuchsstand wurde mit dem integrierten Arbeitskopf für Beton hinsichtlich der Funktionsfähigkeit getestet. Das Aufheizverhalten des Arbeitskopfs ist durch die hohe Laserleistung und exotherme Verbrennung PCB-haltiger Lacke relevant für den Langzeiteinsatz des Systems. In einem Aufheizversuch wurden die Oberflächentemperaturen des Beton-Arbeitskopfes mit der Thermokamera gemessen. Im Arbeitskopf waren sechs Thermolemente verteilt, die an unterschiedlichen Positionen die Temperatur der Abluft gemessen haben. Die Oberfläche des Arbeitskopfes hat sich im Dauerbetrieb bei einer Laserleistung von 1 kW auf 102°C erwärmt. Für den weiteren Betrieb wurden entsprechende Warnhinweise angebracht und Schutzmaßnahmen ergriffen. Weitere Versuche werden mit einer optimierten Kühlung und Laserleistungen bis 10 kW durchgeführt.

*TUD-4:* Für die Dekontamination metallischer Oberflächen, auch bei Arbeiten auf beengtem Raum, wurde in Zusammenarbeit mit IABG (IABG2) ein angepasster Arbeitskopf konstruiert, gefertigt und in den TUD-Versuchsaufbau integriert. Durch den Einsatz eines gepulsten Lasers, im Unterschied zum Dauerstrichbetrieb bei der Dekontamination von Beton, ist die Wärmeentwicklung in diesem Prozess vernachlässigbar, weshalb sich der Arbeitskopf für Metall signifikant hinsichtlich Konstruktion und Schnittstellen vom Arbeitskopf für Beton

unterscheidet. Die Optimierung der eingestellten Abluftvolumenströme soll sicherstellen, dass eine Re-Kontamination ausgeschlossen ist. Dies wird im Arbeitspaket TUD-5 anhand des Verbleibs eingebrachter Surrogate (Co, Cs, Sr) nach Abtragexperimenten verifiziert. Mit der Fertigung des Arbeitskopfes für Metall ist dieses AP abgeschlossen.

*TUD-5:* Die im vorangegangenen Halbjahr begonnenen Versuche an ferritischen Proben u.a mit Oxid und Dekont-Beschichtungen der Fa. Geholit+Wiemer wurden fortgesetzt. Der Abtrag unterschiedlicher Schichtdicken bei gleichzeitiger Vermeidung des Aufschmelzens der Substratoberfläche kann vollständig realisiert werden. Zur Diskussion des Verbleibs abgetragener Partikel bzw. abgetragener (Radio-)Nuklide wurden Proben mit Anteilen an rückbaurelevanten Nukliden (Co, Cs, Sr) in Form von nichtaktiven Surrogaten präpariert und bearbeitet. Die eingebrachten Surrogate waren nach der Laserbearbeitung mittels RFA nur in deutlich reduzierter Konzentration auf den Proben nachweisbar. Damit ist im jetzigen Entwicklungsstand ein Dekont-Faktor bis zu >30 bezogen auf die Ausgangskonzentration realisiert worden.

*TUD-7:* Die WAK hat Musterbleche aus dem Rückbau der heißen Zellen für Laboruntersuchungen übergeben, welche die realen Geometrien und Grundmaterialien in kerntechnischen Anlagen aufweisen. Diese werden in Versuchen an der TUD dekontaminiert.

#### **4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)**

- TUD-3: Fortsetzung der Messung des Aufheizverhaltens des Arbeitskopfes bei verlängerter Versuchsdauer als auch erhöhter Laserleistung. Ermittlung optimierter Parameter hinsichtlich Lackabtrag und Zersetzung sowie Quenching anhand von Flächenleistung und Absaug-Volumenstrom.
- TUD-5: Erweiterung der Parameterkarte für den Abtrag von Oxiden und Lack auf verzinktem Blech und Nickel-Basis-Legierungen (z.B. durch Variation des Vorschubs und der Scanfrequenz), sowie durch Nachbildung weiterer Verschmutzungen. Verifizierung des schädigungsfreien Abtrags der Beschichtungen vom Grundmaterial mittels REM und Härteprüfung. Quantifizierter Nachweis der Rückhaltefähigkeit ausgewählter Filtersysteme bezüglich der abgetragenen Surrogate. In einem ersten Schritt wird geprüft, ob Trockenfiltersysteme dazu ausreichend sind. Alternativ können, bei Bedarf, Nassfiltersysteme oder elektrostatische Filter eingesetzt werden.
- TUD-6/TUD-7: Erprobung der mobilen Anwendung im Labor, in Vorbereitung der Abschlussversuche in der WAK. Nach Abschluss des Arbeitspakets TUD-5 werden die ermittelten, optimierten Prozessparameter an Musterblechen angewendet und messtechnisch ausgewertet.

#### **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

keine

#### **6. Berichte und Veröffentlichungen**

„Laserdekontamination von Beton- und Metalloberflächen“, KONTEC 2017, Dresden

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9215B
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09599 Freiberg	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt LaPLUS: Laser-Dekontamination von Beton- und Metalloberflächen	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2015 bis 31.05.2018	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 259.410,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Dr.-Ing. Stefan Voß	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> stefan.voss@iwtt.tu-freiberg.de

### 1. Zielsetzung des Vorhabens

Aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt LaColor ist vorgesehen, die erprobte Lasertechnologie zum Abtragen PCB-haltiger Dekontlacke in Richtung eines praxisnah einsetzbaren Laserarbeitskopfes mit kontinuierlichem Laserstrahl fortzuführen. Ziel ist es, das Gesamtsystem so zu qualifizieren, dass es die Anforderungen des nuklearen Rückbaus erfüllt. Dazu ist es ergänzend erforderlich, das in LaColor entwickelte Online-Monitoring (LIF) Verfahren zur qualitativen Überwachung des Dekontaminationserfolges zu miniaturisieren und für den Einsatz vor Ort zu ertüchtigen. Die Experimente im Rahmen des Projektes LaColor zeigten darüber hinaus die Möglichkeit unter Nutzung neuartiger Faser-Laser-Systeme eine großflächige Reinigung radioaktiv und chemisch-toxisch kontaminierter Oberflächen effizient und mit minimalem Sekundärabfall durchzuführen. Innovativ ist hier vor allem die von der Fokusslage der Laserstrahlung unabhängige Prozessführung, was auch ermöglicht komplex geformte Oberflächen in einem Prozessschritt zu säubern, wodurch die Handhabung des Reinigungssystems außerordentlich vereinfacht wird. Weiterhin liegt ein Schwerpunkt auf der Entwicklung des angepassten Absaug- und Filtersystems.

### 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- FG1: Konzeptionierung des miniaturisierten Detektionssystems für Reaktionsradikale
- FG2: Konzeptionierung und Entwicklung eines Detektionssystems zur Bestimmung der Oberflächengüte von metallischen Strukturen
- FG3: Untersuchungen zur Nachweisführung von Minoritätenspezies über Chemielumineszenz
- FG4: Untersuchung und Validierung des Funktionsmusters zur Bestimmung der Oberflächengüte
- FG5: Abschlussbericht

### 3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

(FG1)

Das Layout der Optik und zugehörigen Optomechanik für die CCI-LIF Diagnostik beim Abtrag PCB-haltiger Lackschichten auf Betonoberflächen wurde vollendet. Hierfür wird ein kompaktes und robustes Cage-System vorgesehen, welches an den Arbeitskopf des

Projektpartners TU Dresden angebracht werden soll. Damit kann das Anregungslicht, welches von der Lichtquelle per Glasfaser zum Arbeitskopf transportiert wird, kollimiert, fokussiert und auf den Abtragsbereich gelenkt werden. Gleichzeitig sind die Detektion der CCI-LIF sowie der Transport dieses Emissionslichtes zu einem Detektor möglich. Der Arbeitskopf selbst wurde hierbei im Bereich des Kopfes modifiziert, um eine möglichst verlustfreien Durchgang des Anregungs- und Emissionslichtes zu ermöglichen. Hierfür wurden die Positionen der UV-transparenten Zugangsfenster optimiert sowie eine gewinkelte Fensterstellung vorgesehen. Zudem wurde aufgrund des kreisförmigen Querschnitts des Arbeitskopfes nunmehr eine Lösung mit zwei Zugangsfenstern vorgesehen.

Der Test der UV-LED (kommerziell erhältlich) als alternative Anregungslichtquelle und damit als möglicher Ersatz für einen Farbstofflaser, ist weiterhin nicht möglich, da nach wie vor die Abluft der Labore nicht funktionstüchtig ist und keine Versuche mit chlorhaltigen Verbindungen durchgeführt werden können. Alternativ wird hier nun die LIF mit OH-Radikalen in chlorfreien Flammen angestrebt. Diese Radikale können ebenfalls durch das Spektrum der LED anregt werden, sodass eine generelle Aussage zur Machbarkeit der LIF mithilfe dieser LED, insbesondere im Hinblick auf deren geringe Intensität, möglich sein sollte.

(FG2), (FG4)

Die prinzipielle Machbarkeit der thermographischen Erfassung der Oberflächengüte von metallischen Oberflächen über deren Abstrahlcharakteristik im nahen IR-Bereich wurde nachgewiesen. Sowohl für emittierte als auch reflektierte IR-Strahlung konnte ein deutlicher Kontrast zwischen sauberen und verschmutzten metallischen Oberflächen gezeigt werden.

Die Verfahren wurden anhand eigener künstlich hergestellter Proben hinsichtlich verschiedener Einflussfaktoren wie Rauigkeit der zu untersuchenden Oberfläche, Verschmutzungsart der Metalle (Oxid, Epoxidharz, Sprühlack, weitere Organiken) und Probertemperatur charakterisiert sowie die Reproduzierbarkeit nachgewiesen. Darüber hinaus wurden erste, künstlich oxidierte und teilweise auch lasergereinigte, Proben des Projektpartners TU Dresden (Baustahl) untersucht. Hierbei konnten saubere metallische Bereiche eindeutig identifiziert werden. Zudem hat sich gezeigt, dass die Thermographie als weitere Methode zur Bewertung der Laserreinigung (Qualität der Reinigung, zu starke Reinigung, Kantenschärfe der gereinigten Flächen) herangezogen werden kann.

Das auf IR-Emission basierende Messprinzip sollte bevorzugt eingesetzt werden, da dieses technisch einfacher und mit geringerem Aufwand umzusetzen und zudem weniger anfälliger für sich ändernde Oberflächenneigungen (variable Winkel) ist. Allerdings muss hierfür eine leicht erhöhte Oberflächentemperatur der Metalle (von mind. ca. 5 K gegenüber der Umgebungstemperatur) gewährleistet werden, welche bspw. aus der Laserbearbeitung resultieren könnte. Für metallische Oberflächen mit einer der Umgebung entsprechenden Temperatur, ist demgegenüber die Reflektion von IR-Strahlung anzuwenden, wobei zusätzlich eine IR-Quelle notwendig wird.

(FG3)

Chemilumineszenz-Untersuchungen chlorhaltiger Flammen sind analog zu den LIF-Messungen (FG1) nicht durchführbar, da weiterhin regeltechnische Probleme mit der Raumluftabsaugung bestehen und der Arbeitsschutz nicht gewährleistet werden kann.



**4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Mechanische Adaption des Cage-Systems an den Arbeitskopf (FG1)
- Tests zur Machbarkeit einer OH-LIF mittels UV-LED als Anregungslichtquelle, bei Erfolg entsprechende Versuche zur CCI-LIF (FG1)
- Untersuchung von weiteren künstlich verschmutzten metallischen Proben (Lackschichten, lasergereinigte Oberflächen), die der Projektpartner TUD herstellt (FG4)
- Untersuchungen zu weiteren Einflussfaktoren auf die Thermographie (Temperaturgradienten, Winkelabhängigkeit, Strukturierungen) (FG4)
- Detektion der Chemilumineszenz von OH- und CH-Radikalen (FG3)

**5. Bezug zu anderen Vorhaben**

keine

**6. Berichte und Veröffentlichungen**

Greizu et al., Laserdekontamination von Beton- und Metalloberflächen, Kontec 2017, Dresden

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 02S9215C
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Industrieanlagen Betriebsgesellschaft mbH, Einsteinstraße 20, 85521 Ottobrunn	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt LaPLUS: Laser-Dekontamination von Beton- und Metalloberflächen	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2015 bis 31.07.2018	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 199.996,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Herr Dr.-Ing. Guido Kremer	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> kremer@iabg.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt LaColor ist vorgesehen, die erprobte Lasertechnologie zum Abtragen PCB-haltiger Dekontlacke in Richtung eines praxisnah einsetzbaren Laserarbeitskopfes mit kontinuierlichem Laserstrahl fortzuführen. Ziel ist es, das Gesamtsystem so zu qualifizieren, dass es die Anforderungen des nuklearen Rückbaus erfüllt. Dazu ist es ergänzend erforderlich, das in LaColor entwickelte Online-Monitoring (LIF) Verfahren zur qualitativen Überwachung des Dekontaminationserfolges für den Einsatz vor Ort zu ertüchtigen.

Die Experimente im Rahmen des Projektes LaColor zeigten darüber hinaus die Möglichkeit unter Nutzung neuartiger Faser-Laser-Systeme eine großflächige Reinigung radioaktiv und chemisch-toxisch kontaminierter Oberflächen effizient und mit minimalem Sekundärabfall durchzuführen. Innovativ ist hier vor allem die von der Fokulage der Laserstrahlung unabhängige Prozessführung, was auch ermöglicht komplex geformte Oberflächen in einem Prozessschritt zu säubern, wodurch die Handhabung des Reinigungssystems außerordentlich vereinfacht wird.

Weiterhin liegt ein Schwerpunkt auf der Entwicklung des angepassten Absaug- und Filtersystems. Das Forschungsvorhaben wird in einem Verbundprojekt mit der TU Dresden (02S9215A) und der Bergakademie Freiberg (02S9215B) durchgeführt.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1 Erstellung eines Lastenhefts
- AP 2 Konstruktion von zwei Strahlköpfen für mineralische und metallische Untergründe
- AP 3 Technische Dokumentation
- AP 4 Planung u. Begleitung Abschlussversuche
- AP 5 Abschlussdokumentation
- AP P Projekt- und Qualitätsmanagement

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

(mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP 2:

- Die Erstellung von Werkstattzeichnungen für den Beton-Arbeitskopf wurde abgeschlossen.
- Eine Simulation der Strömungsverhältnisse im Arbeitskopf wurde nach Fertigstellung der Konstruktion durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Volumenströme gleichmäßig durch den Arbeitskopf strömen. Die Strömung verteilt sich weitgehend homogen über den Strömungsquerschnitt. Auf Grund von schräg angestellten Abstandshaltern kommt es zu einer Drallbildung, dessen Auswirkung auf den Abtragprozess als gering eingeschätzt wird. Außerdem zeigt sich eine Ablösung der Strömung am 90° Bogen des Abluftanschlusses. Hier wurde vorgeschlagen andere Kaufteile (z. B. 2 mal 45°-Bögen) zu verwenden, wodurch einer Ablösung der Strömung entgegengewirkt wird.
- Für den Metallbearbeitungskopf wurde ein gemeinsames Lastenheft erstellt.
- Nach einem Grobentwurf wurde ein ergänzendes Bauteil zum Entschichtungs-laser der TUD konstruiert, das eine zusätzliche Absaugung ermöglicht. Hierdurch wird das Risiko eines Austritts von kontaminierten Partikeln reduziert. Nach Abstimmung der Fertigungsmethode wurden Werkstattzeichnungen erstellt.

AP P:

- Das Forschungsvorhaben wird innerhalb der IABG während der gesamten Bearbeitungszeit mit den Werkzeugen und Methoden des Projekt- und Qualitätsmanagement begleitet. Hierdurch ist eine zügige, kontinuierliche und erfolgreiche Projektbearbeitung gewährleistet.

### **4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)**

AP3:

- Technische Dokumentation

AP4:

- Planung und Begleitung von Abschlussuntersuchungen

### **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

Das Forschungsvorhaben wird in einem Verbundprojekt mit der TU Dresden (02S9215A) und der Bergakademie Freiberg (02S9215B) durchgeführt.

### **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Veröffentlichung im Tagungsband der KONTEC 2017 mit Vorstellung durch TUD:

Georg Greifzu, Anton Anthofer, T. Kahl, Wolfgang Lippmann, Cornelius Krasselt, Stefan Voß, Richard Nakath, Hannes Jakob, Guido Kremer, Christian Held, A. Hurtado: Laserdekontamination von Beton- und Metalloberflächen; KONTEC 2017; Tagungsband

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9154
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Postfach 200 733, 80007 München Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Standort Dresden-Klotzsche, Maria-Reiche-Str. 2, 01109 Dresden	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verfahrensoptimierung mit Maßstabsvergrößerung zur Volumenreduktion/ Beseitigung C-14-belasteter flüssiger Abfälle mittels elektrochemischer Totalmineralisation der organischen Inhaltsstoffe	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.10.2014 bis 31.12.2017	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 781.383,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Dipl.-Chem. H.-J. Friedrich	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> hans-juergen.friedrich@ikts.fraunhofer.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Gesamtziel des Vorhabens besteht in der Weiterentwicklung, Optimierung und Maßstabsvergrößerung eines bereits im Labormaßstab erfolgreich erprobten Verfahrensansatzes zur elektrochemischen Totalmineralisation C-14-haltiger flüssiger organischer Stoffe, um auf diese Weise ein alternatives, technisch einfacheres und kostengünstigeres Verfahren für die Behandlung und Entsorgung solcher schwierig entsorgbaren und nicht endlagerfähigen radioaktiven Abfälle im bench-scale-Maßstab bereitstellen zu können. Mit den Entwicklungsarbeiten soll auch ein Beitrag zur Verbesserung der Freigabemöglichkeiten radioaktiver Abfälle sowie zur Verringerung von Entsorgungs- und Endlagerkosten geleistet werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Arbeitsprogramm gliedert sich in die nachfolgenden Arbeitspakete, die jeweils aufeinander aufbauen:

- AP1: Experimentelle Prüfung der Einsetzbarkeit für die elektrochemische Totaloxidation bislang nicht untersuchter relevanter organischer Verbindungen
- AP2 Optimierung der Prozessführung
- AP3 Maßstabsvergrößerung und Errichtung einer bench-scale-Anlage mit ca. 1000 cm<sup>2</sup> Anodenfläche einschließlich Anlagendesign für den Umgang mit höheren C-14-Aktivitäten, Kalterprobung
- AP4 Test des Verfahrens im mehrwöchigen Erprobungsbetrieb mit realer C-14-belasteter Abfalllösung
- AP5 Bewertung von Prozessstabilität /-Effektivität und Wirtschaftlichkeit auf Basis der Versuchsdaten, Anforderungen an die technische Umsetzbarkeit
- AP6 Erstellung von Berichten, Patentarbeit, Präsentation der Ergebnisse, Verwertung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten und die wichtigsten hierbei erzielten Ergebnisse werden nachfolgend vorgestellt:

- AP1: Die Untersuchungen sind abgeschlossen.  
Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich mittels elektrochemischer Totaloxidation alle bislang untersuchten organischen Verbindungen, teils in Form von Stoffgemischen vorliegend, auf diese Art in CO<sub>2</sub> überführen ließen. Auch partikuläre organische Substanzen können dabei umgesetzt werden. Einzelne substanzspezifische Untersuchungen werden ggf. bei konkretem Bedarf nachträglich ausgeführt.
- AP2: In Vorbereitung auf die abschließende Erprobung des Verfahrens mit einer 1000-cm<sup>2</sup>-Elektrolysezelle wurden Optimierungsversuche mit realen organischen und anorganischen C-14-Abfalllösungen teilweise unbekannter chemischer Zusammensetzung mit einer 100-cm<sup>2</sup>-Zelle durchgeführt. Dabei wurden die Elektrolyseparameter Stromdichte, Temperatur und Elektrolytkonzentration nochmals an die praktischen Verhältnisse angepasst. Hierbei konnte jeweils eine Abreicherung unter die Freigabegrenzwerte für C-14 für flüssige Abfälle erreicht werden. Die bisher durchgeführten Bilanzuntersuchungen zeigten, dass die Absorption des C-14-CO<sub>2</sub> an das Absorptionsmittel sehr effizient verläuft und bereits in der ersten Gasreinigungsstufe <99,9 % ist. In geringer Menge gelangen C-14-haltige Verbindungen in den Katholyten, wo sie mit dem Wasserstoffstrom gestrippt werden können. Daher macht sich auch eine Gaswäsche des Kathodengases erforderlich. Die Waschlösung wird anodenseitig dem Prozess wieder zugeführt.
- In organischen Verbindungen vorliegendes C-14 kann entsprechend der bisher durchgeführten Untersuchungen zumeist einfacher durch elektrochemische Totaloxidation freigesetzt und in C-14-CaCO<sub>3</sub> überführt werden als anorganisch an komplexe Cyanide gebundenes. Letzteres erforderte erheblich längere Verweilzeiten bei den Versuchen. Die Grundkonfiguration von Elektrolysezelle und Versuchsaufbau hat sich in bewährt. Es traten bislang keinerlei Leckagen oder sonstige Störungen auf. Die Arbeiten sind bis auf wenige Versuche abgeschlossen.
- AP3: Die Bearbeitung wurde fortgesetzt und die Fertigung der Einzelkomponenten mit Ausnahme der Prozesssteuerung/-überwachung mittels SPS abgeschlossen. Ebenso wurde die Kalterprobung der Komponenten abgeschlossen. Bzgl. SPS müssen die Grenzwerte für Notabschaltungen im Falle von Störungen des Prozesses noch genauer angepasst werden, um einerseits eine hohe Sicherheit im Anlagenbetrieb zu gewährleisten, andererseits aber einen hinreichend stetigen Versuchsbetrieb zu ermöglichen.
- AP4: Die Bearbeitung ist im 2. Halbjahr 2017 vorgesehen.
- AP5: Eine Bearbeitung ist erst im 2. Halbjahr 2017 vorgesehen.
- AP6: AP 6 wurde entsprechend Erfordernis bearbeitet.

#### **4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)**

AP2: In Vorbereitung des Aufbaus und der Verfahrenserprobung mit der bench-scale-Anlage sind noch einige zusätzliche Versuche zur weiteren Optimierung der Reaktionsbedingungen mit der 100-cm<sup>2</sup>-Elektrolysezelle vorgesehen. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass die realen C-14-haltigen Abfalllösungen ein etwas anderes elektrochemisches Verhalten aufweisen als die bislang untersuchten Modellsubstanzen.

AP3: Schwerpunkt der geplanten weiteren Arbeiten sind die Fertigstellung des Technikumsversuchsstands mit 1000-cm<sup>2</sup>-Elektrolysezelle und die Durchführung des Dauerbetriebs über mehrere Wochen (AP 4). Begleitend hierzu bzw. nachfolgend werden planmäßig die Bewertung der Prozessstabilität und die Auswertung der Versuchsdaten (AP5) sowie von wirtschaftlichen Aspekten (AP 6) vorgenommen.

#### **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

Der diesem Projekt zugrunde liegende Verfahrensansatz geht auf Vorarbeiten zurück, die gleichfalls innerhalb eines BMBF-Projektes (02S8801) durchgeführt werden konnten. Bei diesem weit weniger umfangreichen Projekt handelte es sich um ein sog. proof of concept.

Die Ergebnisse und die Erfahrungen, die in Zusammenhang mit der elektrochemischen Totaloxidation C-14-haltiger organischer Abfälle gesammelt werden konnten, fließen auch in neue Projekte ein, so z.B. in das BMBF-Verbundprojekt „SONEKTRO - Integrierte hochstabile Materialverbundsysteme für sono-elektrochemische Behandlung REACH-relevanter anthropogener Spurenstoffe sowie für elektrochemische Synthesen“ im Rahmen der InnoEMat-Initiative des BMBF, das gegenwärtig ebenfalls bearbeitet wird.

#### **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Die Ergebnisse des Vorhabens wurden auf der Kontec 2017 in Dresden präsentiert.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis: 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9225A
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Gotthard-Franz-Str. 3, Geb. 50.31, 76131 Karlsruhe	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Magnet-Separation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (MASK)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2015 bis 31.10.2018	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 629.574,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr.-Ing. S. Gentes	<b>E-Mail-Adresse des Projektleiters/-in:</b> sascha.gentes@kit.edu

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Eine Zerlegetechnik, die beim Rückbau kerntechnischer Anlagen eingesetzt wird, ist das Wasser-Abrasive-Suspensions-Schneidverfahren (WASS), bei dem die Komponenten mithilfe eines Hochdruckwasserstrahls und eines scharfkantigen Abrasivmittels geschnitten werden. Mit diesem Verfahren wurden bereits Reaktor-Druckbehälter (RDB) und zugehörige RDB-Einbauten fachgerecht rückgebaut. Beim Durchtrennen entsteht durch die Mitnahme von Schnittfugenmaterial in der Suspension ein Gemisch von Wasser, Abrasivmittel und radioaktiven Stahlspänen. In einem vorhergehenden Forschungsprojekt (NENAWAS) konnte bereits ein Separationsverfahren zur Nachbehandlung von dieser Mischung entwickelt werden. Hierbei werden die magnetischen Stahlspäne mit Hilfe eines Magnetfilters in einer Separationsanlage (NENAWAS-Anlage) von dem nicht radioaktiven Abrasiv getrennt. Ziel des MASK-Forschungsprojekts ist die Verbesserung des bestehenden Verfahrens durch experimentelle und numerische Untersuchungen in einer neu entwickelten Anlage (MASK-Anlage). Darin sollen insbesondere Versuche mit radioaktivem Material möglich sein.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- 1) Experimentelle und analytische Untersuchungen (INE/TMB):
  - AP1: Grundlagenuntersuchung zur analytischen Betrachtung des Filtervorgangs
  - AP2: Detaillierte Analyse der getrennten Fraktionen und Ermittlung der zu erwarteten Restaktivität
  - AP3: Anpassung der Pilotanlage zur Untersuchung der Einflussfaktoren
  - AP4: Durchführung der Parameteruntersuchung
  - AP5: Iterative Optimierung des Verfahrens
  - AP6: Erprobung des Verfahrens mit aktiviertem Material
  - AP7: Dokumentation der Ergebnisse

- 2) Numerische Untersuchungen (TMB):
  - AP1: Auswahl geeigneter CFD-Software
  - AP2: Bedingungen für das Simulationsmodell
  - AP3: Entwicklung des Simulationsprogramms
  - AP4: Simulation und Auswertung
  - AP5: Dokumentation der Ergebnisse

### **3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

#### 1) Experimentelle und analytische Untersuchungen: AP 2,3+6

Nach positiver interner Begutachtung der Planungsunterlagen für den Betrieb der MASK-Anlage im Kontrollbereich des INE, wurde mit der Detailplanung begonnen. Ein Teil der Komponenten wurde bestellt und geliefert. Der Rührbehälter zur Suspension der Korngemische für die MASK-Anlage wurde ausgelegt und dimensioniert. Das Gestell zur Aufnahme der einzelnen MASK-Komponenten wurde begleitend geplant und aufgebaut. Die besonderen Anforderungen an den Betrieb in einer Handschuhbox wurden in der Detailplanung berücksichtigt.

Zur weiteren Charakterisierung des Korngemisches wurde ein Nasssiebverfahren am TMB angewendet und die einzelnen Partikelgrößenfraktionen auf den Stahlgehalt im INE analysiert. Diese Fraktionen sind hinsichtlich ihrer Größenverteilung hinreichend homogen, um eine repräsentative Probenahme zu gewährleisten.

Eine Literaturrecherche zur Korrosion ferritischer Proben wurde durchgeführt. Ergänzend wurden Experten im Fachbereich Korrosion befragt. Die Korrosion von ferritischen Stahlpartikeln im Korngemisch kann demnach nur mit chemischen Zusätzen erreicht werden.

#### 2) Numerische Untersuchungen: AP 3+4

Es wurde begonnen ein Entwicklungsplan zu erarbeiten. Es wird eine vereinfachte Geometrie verwendet um die Rechenzeit zu minimieren. Erste Magnetfeld-Simulationen wurden berechnet.

### **4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

#### 1) Experimentelle und analytische Untersuchungen: AP 2+3

Die MASK-Anlage wird aufgebaut und inaktiv in Betrieb genommen. Es wird ein Versuchsplan für den inaktiven Betrieb der MASK-Anlage entworfen. Proben aus Separationsversuchen werden chemisch und mikroskopisch analysiert.

Für den Betrieb der MASK-Anlage mit radioaktiven Korngemischen wird mit der Planung begonnen. Bereits geknüpfte Kontakte zu verschiedenen Energieversorgungsunternehmen werden vertieft, um reale radioaktive Korngemische zu erhalten.

#### 2) Numerische Untersuchungen: AP 3+4

Der Entwicklungsplan wird weiter erarbeitet. Zudem werden weitere Simulationen durchgeführt.



## 5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

## 6. Berichte und Veröffentlichungen

### Eingereichte Veröffentlichungen:

“Improvement of a Separation Method for the Reduction of Secondary Waste from the Water Abrasive Suspension Cutting Technique“ Vortrag, Kontec, 23.03.2017, Dresden

“Study of a magnetic filter system for the reduction of secondary waste from the water abrasive suspension cutting technique“, Vortrag, Jahrestagung Kerntechnik (AMNT), 17.05.2017, Berlin

“Improvement of a separation method for the reduction of secondary waste from the waterjet abrasive suspension cutting technique“, Extended Abstract und Vortrag, PETRUS-ANNETTE PhD conference, Lissabon, 26.-30.06.2017

“Magnet separation for the reduction of secondary waste from the waterjet abrasive suspension cutting technique“, Poster, PETRUS-ANNETTE PhD conference, Lissabon 26.-30.06.2017

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9225B
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Nukleare Entsorgung (INE), Hermann-von-Helmholtz Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Magnet-Separation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (MASK)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2015 bis 31.10.2018	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 458.909,50 EUR €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr. Horst Geckeis	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> horst.geckeis@kit.edu

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Eine Zerlegetechnik, die beim Rückbau kerntechnischer Anlagen eingesetzt wird, ist das Wasser-Abrasive-Suspensions-Schneidverfahren (WASS), bei dem die Komponenten mithilfe eines Hochdruckwasserstrahls und eines scharfkantigen Abrasivmittels geschnitten werden. Mit diesem Verfahren wurden bereits Reaktor-Druckbehälter (RDB) und zugehörige RDB-Einbauten fachgerecht rückgebaut. Beim Durchtrennen entsteht durch die Mitnahme von Schnittfugenmaterial in der Suspension ein Gemisch von Wasser, Abrasivmittel und radioaktiven Stahlspänen. In einem vorhergehenden Forschungsprojekt (NENAWAS) konnte bereits ein Separationsverfahren zur Nachbehandlung von dieser Mischung entwickelt werden. Hierbei werden die magnetischen Stahlspäne mit Hilfe eines Magnetfilters in einer Separationsanlage (NENAWAS-Anlage) von dem nicht radioaktiven Abrasiv getrennt. Ziel des MASK-Forschungsprojekts ist die Verbesserung des bestehenden Verfahrens durch experimentelle und numerische Untersuchungen in einer neu entwickelten Anlage (MASK-Anlage). Darin sollen insbesondere Versuche mit radioaktivem Material möglich sein.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

### 1. Experimentelle und analytische Untersuchungen (INE/TMB):

- AP1: Grundlagenuntersuchung zur analytischen Betrachtung des Filtrervorgangs
- AP2: Detaillierte Analyse der getrennten Fraktionen und Ermittlung der zu erwarteten Restaktivität
- AP3: Anpassung der Pilotanlage zur Untersuchung der Einflussfaktoren
- AP4: Durchführung der Parameteruntersuchung
- AP5: Iterative Optimierung des Verfahrens
- AP6: Erprobung des Verfahrens mit aktiviertem Material
- AP7: Dokumentation der Ergebnisse

2. Numerische Untersuchungen (TMB):

- AP1: Auswahl geeigneter CFD-Software
- AP2: Bedingungen für das Simulationsmodell
- AP3: Entwicklung des Simulationsprogramms
- AP4: Simulation und Auswertung
- AP5: Dokumentation der Ergebnisse

**3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse**

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2,3+6:

Nach positiver interner Begutachtung der Planungsunterlagen für den Betrieb der MASK-Anlage im Kontrollbereich des INE, wurde mit der Detailplanung begonnen. Ein Teil der Komponenten wurde bestellt und geliefert. Der Rührbehälter zur Suspension der Korngemische für die MASK-Anlage wurde ausgelegt und dimensioniert. Das Gestell zur Aufnahme der einzelnen MASK-Komponenten wurde begleitend geplant und aufgebaut. Die besonderen Anforderungen an den Betrieb in einer Handschuhbox wurden in der Detailplanung berücksichtigt.

Es wurde eine Literaturrecherche zu den Oberflächenladungen der Stahl- und Abrasivpartikel durchgeführt. Korrosionsprodukte, die beim Schneiden des ferritischen Stahls auftreten, können sich auf das Abrasiv und metallische Oberflächen anlagern.

Zur weiteren Charakterisierung des Korngemisches wurde ein Nasssiebverfahren am TMB angewendet und die einzelnen Partikelgrößenfraktionen auf den Stahlgehalt im INE analysiert. Diese Fraktionen sind hinsichtlich ihrer Größenverteilung hinreichend homogen, um eine repräsentative Probenahme zu gewährleisten.

**4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2,3,5+6:

Strömungspotentialmessungen zur Bestimmung des Ladungsnullpunkts des verwendeten Abrasivmaterials werden durchgeführt.

Die MASK-Anlage wird aufgebaut und inaktiv in Betrieb genommen. Es wird ein Versuchsplan für den inaktiven Betrieb der MASK-Anlage entworfen. Proben aus Separationsversuchen werden chemisch und mikroskopisch analysiert.

Für den Betrieb der MASK-Anlage mit radioaktiven Korngemischen wird mit der Planung begonnen. Bereits geknüpfte Kontakte zu verschiedenen Energieversorgungsunternehmen werden vertieft, um reale radioaktive Korngemische zu erhalten.

**5. Bezug zu anderen Vorhaben**

keine

## 6. Berichte und Veröffentlichungen

“Improvement of a Separation Method for the Reduction of Secondary Waste from the Water Abrasive Suspension Cutting Technique“ Vortrag, Kontec, 23.03.2017, Dresden

“Study of a magnetic filter system for the reduction of secondary waste from the water abrasive suspension cutting technique“, Vortrag, Jahrestagung Kerntechnik (AMNT), 17.05.2017, Berlin

“Improvement of a separation method for the reduction of secondary waste from the waterjet abrasive suspension cutting technique“, Extended Abstract und Vortrag, PETRUS-ANNETTE PhD conference, Lissabon, 26.-30.06.2017

“Magnet separation for the reduction of secondary waste from the waterjet abrasive suspension cutting technique“, Poster, PETRUS-ANNETTE PhD conference, Lissabon 26.-30.06.2017

“Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfall beim WASS-Verfahren“, Vortrag, VDI-Konferenz, Karlsruhe, 05.07.2017

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9245
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Technische Universität München, ZTWB Radiochemie München (RCM)	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Identifizierung und Quantifizierung von Beta-Strahlern zur zerstörungsfreien Charakterisierung radioaktiver Abfallgebinde (IQ-Beta)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> von 01.01.2016 bis 31.12.2018	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 394.686,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Dr. Thomas Bücherl	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> thomas.buecherl@tum.de

### 1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Rahmen des Vorhabens soll ein effektives Verfahren zur Bestimmung des Bremsstrahlungsanteils in gemessenen Gamma-Spektren und der Identifikation und Quantifikation der hierfür verantwortlichen Beta-Strahler auf Grundlage und Erfahrungen aus vorhergehenden Projekten erarbeitet werden.

### 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die geplanten Arbeitsschritte sind:

- AP 1. Bestandsaufnahme
- AP 2. Analyse gemessener Gamma-Spektren
- AP 3. Programme zur Simulation von Gamma-Spektren
- AP 4. Simulation von Gamma-Spektren
- AP 5. Identifikation von Beta-Strahlern
- AP 6. Durchführung von Test- und Verifikationsmessungen an Test- und Realobjekten.
- AP 7. Softwareintegration der entwickelten Programmmodule in existierendes Analysepaket
- AP 8. Weitere Untersuchungen
- AP 9. Diskussion der Ergebnisse und Abschluss des Projekts mit einem ausführlichen Bericht.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Berichtszeitraum wurde vor allem an der Analyse gemessener Gamma-Spektren gearbeitet (AP2) und hierfür vor allem Methoden zur Trennung der „full energy peaks“ von den restlichen Bestandteilen eines Gamma-Spektrums untersucht. Diese Trennung stellt einen zentralen Schritt des Vorhabens dar, da die hierbei erzielte Richtigkeit und Genauigkeit große Auswirkungen auf die in AP4 zu simulierenden Spektren hat. Wesentlicher Bestandteil ist in diesem Zusammenhang die Trennung zwischen Peak und Untergrund. Die zu bestimmende Untergrundlinie sollte durch die Flanken der einzelnen Peaks im Spektrum verlaufen und den generellen Verlauf des Untergrunds ohne dessen statistischen Schwankungen nachbilden. Eine weitere zu berücksichtigende Randbedingung war, dass die Anwendung der Methode möglichst unabhängig von der jeweiligen Messgeometrie sein

sollte, d. h. keine dementsprechenden Parameter erfordert. In der Literatur finden sich zahlreiche Ansätze, wovon nach einer ersten Auswahl drei Methoden genauer untersucht wurden. Hierzu gehören die Anpassungen an den Untergrund mittels

- dem Statistics-sensitive Non-linear Iterative Peak-clipping (SNIP) [1],
- Parabeln [2] sowie
- orthogonaler Polynome [3].

Um bereits von Beginn an den Realitätsbezug zu berücksichtigen, wurden alle Untersuchungen anhand gemessener Spektren durchgeführt. Die mit HPGe-Detektoren bestimmten Spektren variieren in ihrer Nuklidzusammensetzung und ihrer Messzeiten, um den Einfluss unterschiedlicher Energieabhängigkeiten und Messgenauigkeiten zu berücksichtigen.

Es zeigte sich, dass bei Anpassung des Untergrunds mit Parabeln und dem SNIP eine vorherige Glättung des Spektrums erforderlich sein kann, da beide Verfahren Minima des Spektrums im Bereich um den eigentlichen Peak als Stützstellen in ihrer Auswertung benutzen und die Ergebnisse somit von Rauscheffekten im Spektrum sehr stark beeinflusst sein können. Als besonders geeignet hat sich eine Glättung mit dem Savitzki-Golay-Filter [4], [5] erwiesen, da er starke Änderungen im Spektrum, wie sie Peaks darstellen, unberücksichtigt lässt. Die Mittelungsbreite muss derart gewählt werden, dass vor allem die Rauscheffekte in den Randbereichen des Peaks minimiert werden. Dies führt zunächst zu einer Verbreiterung der Peaks, aber insgesamt zu besseren Ergebnissen bei der Anpassung der Grundlinie.

Das SNIP-Verfahren benötigt für seine Anwendung nur zwei Parameter, die Mittelungsbreite und die Anzahl an Iterationen, und hat von allen Methoden die wenigsten Freiheitsgrade. Kleine Änderungen der Werte führen allerdings zu großen Änderungen im Untergrundverlauf. Durch geeignete Parameter werden die Flanken der Peaks und die Untergrundlinie aber gut angepasst. Bei einmal festgelegten Parametern kann die Anpassung an unterschiedliche Peakformen in der Regel durch die Variation nur eines Parameters erfolgen.

Die Methode der Parabeln basiert ebenfalls auf der Verwendung der Minima als Stützpunkte, besitzt mit vier Parametern aber mehr Freiheitsgrade. Durch Überlagerung einer Anzahl an nach unten offener Parabeln wird versucht den Untergrundverlauf nachzubilden. Das hierbei auftretende Problem zeigt sich vor allem im Bereich der Hauptpeaks, da hier die nutzbaren Stützstellen in der Regel zu weit auseinanderliegen, um einen glatten Untergrundverlauf zu ergeben. Die in diesen Bereichen auftretenden, deutlich parabelartigen Verläufe sind umso ausgeprägter, je unterschiedlicher die Niveaus der Flanken sind und breiter die Peaks sind. Durch die Wahl geeigneter Parameter für solche Peaks kann dieses Verhalten reduziert werden, erreicht aber keine bessere Güte im Vergleich zu den anderen Methoden. Insbesondere bei Doppelpeaks, die eine noch größere Breite aufweisen, tritt wieder deutlich der parabelartige Charakter auf. Mehrere Parameter müssten für jeden einzelnen Peak individuell angepasst werden, was in der Praxis bei einer automatisierten Auswertung nur bedingt realisierbar ist.

Die Methode der orthogonalen Polynome benötigt keine Glättung des Spektrums. Diese ist sogar kontraproduktiv, da statistische Schwankungen zu kleinen, breiten Peaks geglättet werden können, deren Verlauf die bestimmte Untergrundlinie folgen würde. Eine Ausnahme bildet der Fall einer schlechten Zählstatistik, wenn Kanäle den Wert 0 enthalten. Die hierbei

auf tretenden numerischen Probleme können durch Glättung mit minimaler Mittelungsbreite begegnet werden, da hierdurch alle Kanäle mit dem Wert Null eliminiert werden und die schwache Glättung sich nicht merklich negativ auf die Anpassung auswirkt. Für Einzelpeaks bilden orthogonale Polynome die Grundlinie sehr gut nach. Da der Verlauf der Flanken stark in die Berechnung mit eingeht, ist ein breiter Bereich um den Peak bei der Anwendung zu berücksichtigen. Mit den drei festen Parametern (Gewichtungsfaktor = 2, Polynomgrad = 5 und Zahl der Iterationen = 10) wurden sehr gute Ergebnisse erzielt, die auch für breite Doppelpeaks gut geeignet sind. Eine Anpassung dieser Parameter für unterschiedliche Peakformen bzw. für Mehrfachpeaks unterschiedliche Abstände ist kaum erforderlich.

Es zeigte sich, dass eine vollständige ideale Nachbildung der Untergrundlinie für alle Arten von Peaks nicht möglich ist, Methoden mit hinreichender numerischer Stabilität und geringem Anpassungsbedarf der Parameter eine gute Näherungslösung bieten. Hier stellt die Methode der orthogonalen Polynome einen guten Ansatz für die weiteren Arbeiten dar, da sie weitestgehend ohne eine spezielle Anpassung der Parameter auskommt. Peaks mit stark unterschiedlichen Flanken (sog. tailing oder fronting) oder stark variierendem Verlauf des Untergrunds müssen nach der ersten Auswertung gesondert betrachtet werden.

Die bestimmte Untergrundlinie wird wiederum für die Identifikation von Peakpositionen verwendet. Deren Lokalisierung erfolgt nach einer Glättung (z. B. unter Verwendung des Savitzky-Golay Filters) des Spektrums und Bestimmung der Positionen mittels der ersten und zweiten Ableitung und der Randbedingung, dass die Maxima über dem durch die mit einem Unsicherheitsbereich beaufschlagten Untergrundlinie liegen. Die Peakflächen lassen sich dann durch geeignete Peak-Fit-Routinen und verschiedene Verteilungsfunktionen (Gauß, Lorentz etc.) unter Berücksichtigung von zusätzlichem Tailing bzw. Fronting bestimmen.

[1] C.G. RYAN, E. CLAYTON *SNIP, a statistics-sensitive background treatment for the quantitative analysis of pixel spectra in geoscience applications*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, No. 3+4 (1988) pp. 396–402.

[2] J. Kajfosz, W. M. Kwiatek *Nonpolynomial approximation of background*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. Vol. 1987, No. 22 (1987) pp. 78–81.

[3] S. Steenstrup *A Simple Procedure for Fitting a Background to a Certain Class of Measured Spectra*. J. Appl. Cryst., No. 14 (1981) pp. 226–229.

[4] Savitzky, Abraham; Golay, Marcel J.E. *Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures*. Analytical Chemistry. Vol. 36, No. 8 (1964) pp. 1627–1639.

[5] Steiner, Jean *Comments on Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Square Procedure*. Analytical Chemistry. Vol. 44, No. 11 (1972) pp. 1906–1909.

#### **4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm punkten)

Für die vollständige Beschreibung und Rekonstruktion der gemessenen Gamma-Spektren (AP 2 und 4) ist die Berücksichtigung weiterer Einflussgrößen erforderlich, wie z. B. Beiträge durch Compton-Streuung im Detektor, Build-Up Effekte etc. Verschiedene Ansätze zu ihrer analytischen Beschreibung werden aktuell erarbeitet und hinsichtlich ihrer Eignung für die Analyse realer Spektren untersucht (AP 6). Alle Ansätze werden als individuelle Programmmodule realisiert (AP 3).

Ziel ist der Abschluss der Arbeiten zu den Arbeitspaketen 2 und 3 bis spätestens zum Ende des folgenden Berichtszeitraums. Abhängig vom Fortschritt dieser Arbeiten soll parallel hierzu mit der Bearbeitung der Arbeitspakete 4 und 5 begonnen werden.

**5. Bezug zu anderen Vorhaben**

keine

**6. Berichte und Veröffentlichungen**

keine



<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9266A
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Forschungszentrum Jülich GmbH	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2016 bis 31.05.2019	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 728.115 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr. Giuseppe Modolo	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> g.modolo@fz-juelich.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Kooperationspartner Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ) und Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) haben sich zum Ziel gesetzt ein Entsorgungskonzept für radioaktives Quecksilber und quecksilberhaltige Abfallkontingente zu erarbeiten und zu validieren. Erster Projektabschnitt ist dabei die Inventarisierung und Charakterisierung bestehender nationaler und internationaler Abfallkontingente. Aufgrund der hohen Selbstabschirmung von Quecksilber ist bei der radiologischen Charakterisierung ein an die Aufgabenstellung angepasstes Messprogramm zu entwickeln. Für nationale Quecksilberkontingente soll zielgerichtet ein Dekontaminationsverfahren entwickelt werden, wodurch die enthaltenen Radionuklide separiert werden können und das Quecksilber nachfolgend wieder einer Verwertung oder einem konventionellen Entsorgungspfad für chemotoxische Sonderabfälle zugeführt werden kann. Für die verbleibenden Rückstände bei der Dekontamination soll ein Konditionierungsverfahren für eine endlagergerechte Entsorgung dargelegt werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Arbeitspakete des Gesamtvorhabens, an denen das FZJ beteiligt ist, sind:

- AP-1 Codierung der Abfallkontingente
- AP-2 Inventarisierung der Abfallkontingente
- AP-4 Charakterisierung der Abfallkontingente
- AP-5 Experimentelle Untersuchungen für das physikalische oder chemische Konversionsverfahren
- AP-6 Vergleich, Bewertung & Auswahl von Dekontaminationsverfahren
- AP-7 Anwendung & Optimierung der Dekontaminationsverfahren
- AP-8 Konzipierung & Entwicklung des Freigabemessverfahrens
- AP-12 Immobilisierung in einer Matrix

An den Arbeitspaketen AP-3, AP-9, AP-10, AP-11 und AP-13 ist das FZJ nicht beteiligt. Diese Arbeitspakete werden alleine vom AiNT durchgeführt.

### **3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Seitens des FZJ wurden im Berichtszeitraum hauptsächlich die Arbeitspakete AP-4, AP-6, AP-7 und AP-8 behandelt.

Die Charakterisierung des ersten Abfallmaterials ist vorangeschritten (AP-4). Die Gamma- und Betastrahler sind durch möglichst repräsentative Probenahme identifiziert und quantifiziert worden. Weiterhin ist eine Auftrennung des Materials notwendig, um auch die quantitative Charakterisierung der Alpha-Strahler zu verifizieren. Ein entsprechendes Auftrennungskonzept wird derzeit entwickelt und erprobt. Zudem werden weitere repräsentative Quecksilberproben aus den Chemiezellen organisiert, die zwecks Charakterisierung ebenfalls vermessen werden.

Im Rahmen von AP-6 und AP-7 wurde die Vakuumdestillation als ein vielversprechendes Dekontaminationsverfahren für radioaktiv kontaminierte Quecksilberabfälle erprobt. Hierzu wurde sowohl eine Machbarkeitsstudie mit gezielt kontaminiertem Quecksilber durchgeführt als auch ein Test mit Abfällen aus den Chemiezellen. Zusätzlich erfolgten erste Vorversuche zu einem möglichen Waschverfahren als alternatives bzw. ergänzendes Dekontaminationsverfahren.

In Zusammenarbeit mit AiNT ist die Gammadetektoranlage für Freigabemessungen inklusive aller angefertigten Komponenten fertig geplant, aufgebaut und in Betrieb genommen worden (AP-8). Es wurde eine Kalibrierung und Validierung der Detektoranlage vorgenommen. Die ersten radioaktiv kontaminierten Quecksilberproben sind bereits erfolgreich vermessen.

### **4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im zweiten Halbjahr 2017 sind vom FZJ Weiterarbeiten zu den AP-4, AP-6, AP-7, AP-8 und AP-12 geplant.

Derzeit wird innerhalb von AP-4 ein geeignetes Auftrennungskonzept entwickelt, um die Alphastrahler selektiv aus den Quecksilberabfällen abzutrennen. Mithilfe dieser Auftrennung kann auch die Charakterisierung der ersten Abfälle abgeschlossen werden. Anschließend soll das an dem ersten Probenmaterial erprobte Charakterisierungskonzept auf weitere Quecksilberproben aus den Chemiezellen angewendet werden, um eine repräsentative Aussage über die Zusammensetzung der Abfälle treffen zu können. Hierbei kommt vor allem auch die neu entwickelte und inzwischen einsatzbereite Gammadetektoranlage zum Einsatz.

Für die nächsten Wochen ist zudem der Beginn von Freigabemessungen von voraussichtlich nicht kontaminierten Quecksilberabfällen mithilfe der neuen Detektoranlage geplant (AP-8).

Das Dekontaminationsverfahren (AP-6 & AP-7) soll an weiteren Quecksilberproben angewendet und auf die Durchführbarkeit hin abschließend bewertet werden.

Zudem werden im Rahmen von AP-8 die ersten Arbeiten zur Immobilisierung von Quecksilberverbindungen in Geopolymerzementen weitergeführt. Hierbei soll vor allem die

Eignung dieser Materialien als potentielle Abfallmatrix für die radioaktiv kontaminierten Quecksilberrückstände untersucht werden.

#### **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

keine

#### **6. Berichte und Veröffentlichungen**

N. Shcherbina, L. Klaß, G. Deissmann, D. Bosbach, Research for the safe management of nuclear wastes: The special case of "problematic" radioactive waste streams, DPG Proceedings, **2017**.

J. Kettler, A. Havenith, M. Hirsch, C. Greul, J. Ulrich, G. Modolo, A. Wilden, G. Deissmann, L. Klaß, N. Lieck, F. Sadowski, PROcess of Radioactive MErcury Treatment under EU Safety Standards – PROMETEUS, KONTEC 2017, Dresden, 22.-24. März **2017**.

Projektsteckbrief PROMETEUS - PROcess of radioactive MErcury Treatment under EU Safety-standards, veröffentlicht auf der Internetseite zum Projekt:  
<http://www.nuclear-training.de/prometeus.html>

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9266B
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT)	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> von 01.06.2016 bis 31.05.2019	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 381.901 Euro
<b>Projektleiter/-in:</b> Dr. Andreas Havenith	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> havenith@nuclear-training.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Kooperationspartner Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ) und Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) haben sich zum Ziel gesetzt ein Entsorgungskonzept für radioaktives Quecksilber und quecksilberhaltige Abfallkontingente zu erarbeiten und zu validieren. Erster Projektabschnitt ist dabei die Inventarisierung und Charakterisierung bestehender nationaler und internationaler Abfallkontingente. Aufgrund der hohen Selbstabschirmung von Quecksilber ist bei der radiologischen Charakterisierung ein an die Aufgabenstellung angepasstes Messprogramm zu entwickeln. Für nationale Quecksilberkontingente soll zielgerichtet ein Dekontaminationsverfahren entwickelt werden, wodurch die enthaltenen Radionuklide separiert werden können und das Quecksilber nachfolgend wieder einer Verwertung oder einem konventionellen Entsorgungspfad für chemotoxische Sonderabfälle zugeführt werden kann. Für die verbleibenden Rückstände bei der Dekontamination soll ein Konditionierungsverfahren für eine endlagergerechte Entsorgung dargelegt werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Arbeitspakete des Gesamtvorhabens, an denen die AiNT beteiligt ist, sind:

- AP-3 Erhebung nationaler & internationaler Abfallkontingente
- AP-4 Charakterisierung der Abfallkontingente
- AP-6 Vergleich, Bewertung & Auswahl von Dekontaminationsverfahren
- AP-8 Konzipierung & Entwicklung des Freigabemessverfahrens
- AP-9 Ablaufplanung-Freigabeverfahren
- AP-10 Konventionelle Entsorgung
- AP-11 Konditionierungskonzept inkl. Ablaufplanung für die avisierte Qualifizierung
- AP-13 Verpackungskonzept für endlagergerechte Abfallprodukte

An den Arbeitspaketen AP-1, AP-2, AP-5, AP-7 und AP12 ist AiNT nicht beteiligt. Diese Arbeitspakete werden alleine vom FZJ durchgeführt.

### **3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In AP-3 wurden zahlreiche Gespräche mit Ablieferungspflichtigen geführt, um nationale sowie internationale quecksilberhaltige Abfallkontingente zu erfassen und zu spezifizieren. Schriftlich wurden 42 nationale und 60 internationale Ablieferungspflichtige für die Erhebung der Abfallkontingente angeschrieben und informiert. Die Rückmeldungen der Ablieferungspflichtigen wurden ausgewertet. Das Arbeitspaket AP-3 wurde abgeschlossen und dokumentiert.

Seitens AiNT wurde im Berichtszeitraum an den Arbeitspaketen AP-4, AP-6, AP-8 und AP-9 gearbeitet. Innerhalb von AP-4 wurden Abfallkontingente, die im FZJ lagern, radiologisch charakterisiert. Hierzu wurden Messungen durch FZJ und AiNT durchgeführt und die Ergebnisse dokumentiert. Die Bewertung, die Auswahl und die Durchführung von Dekontaminationsverfahren (AP-6) werden primär durch den Projektpartner FZJ durchgeführt. Das FZJ hat die nach Stand von W&T geeigneten Dekontaminationsverfahren vorgestellt. Seitens AiNT wurden die Verfahren bzgl. einer Eignung im Endlagerungsverfahren bzw. für die Freigabe bewertet.

Innerhalb von AP-8 wurde seitens AiNT eine Messanlage zur gammaspektrometrischen Analyse von radioaktiven Quecksilberproben ausgelegt. Die Messanlage besteht aus zwei semiplanaren HPGe-Detektoren (rel. Effizienz von 20 %), die auf einem gegenläufigen Linearführungssystem montiert und gleichzeitig symmetrisch verfahrbar sind. Zwischen den beiden HPGe-Detektoren befindet sich die Quecksilberprobe. Die Messanlage erlaubt es Quecksilberproben mit verschiedenen Volumina zu messen. Mittels MCNP wurden Simulationsstudien durchgeführt, um die Erkennungs- und Nachweisgrenzen der Messanlage gemäß DIN ISO 11929 in Abhängigkeit der Probengröße zu bestimmen. Anhand dieser Sensitivitätswerte wurde das Messanlagen für radionuklidspezifische Freigabemessungen ausgelegt.

Die Messanlage wurde im FZJ aufgebaut und es wurden erste Testmessungen durchgeführt. Die MCNP-Modelle der zwei HPGe-Detektoren wurden mittels Kalibrierquellen des Radionuklids Eu-152 durch raumwinkelabhängige Messungen validiert. Die Implementierung der Messanlage in ein Freigabeverfahren gemäß § StrlSchV erfolgt mittels eines Ablaufplanverfahrens. AiNT hat begonnen den Ablaufplan sowie die zugehörigen Betriebsanweisungen zu erstellen. Diese Planungen sind Teil des von AiNT zu erstellenden Entsorgungskonzepts für radioaktives Quecksilber bzw. quecksilberhaltige Abfallkontingente.

Die bisherigen Arbeiten befinden sich innerhalb der Planungsvorgaben des Antrags.

### **4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im zweiten Halbjahr 2017 werden die Arbeitspakete AP-6, AP-8 und AP-9 weiterbearbeitet. Nach Durchführung von weiteren Dekontaminationsversuchen (z.B. Vakuumdestillation) seitens FZJ werden die Ergebnisse bewertet (AP-6). Die Bewertung erfolgt über die Bestimmung der Dekontaminationsfaktoren. Nachdem die konzipierte gamma-spektrometrische Messanlage experimentell mittels Kalibrierquellen validiert wurde, erfolgt anschließend die Validierung anhand von Volumenquellen. Hierzu werden die späteren Probenbehälter mit einer zertifizierten radioaktiven Flüssigkeit gefüllt und mit der

Messanlage gemessen. Im Anschluss erfolgt der Testbetrieb der Messanlage mit radioaktiven Quecksilberproben. Mittels der Messanlage kann das gammaspektrometrisch nachweisbare Radionuklidinventar von Quecksilberproben bestimmt werden.

## **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

Es gibt keinen Bezug bzw. einen Austausch zu anderen öffentlich geförderten Projekten.

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Master thesis by Alicia Marcos Jiménez: Design and validation of a measurement facility adapted to the radiological characterization of mercury-containing waste, 23.06.2017, First examiner: Prof. Dr. Ulrich W. Scherer, FH Aachen University of Applied Sciences, Second examiner: Dr. John Kettler, Advisor: Dr. Andreas Havenith.

Dr. John Kettler, Dr. Andreas Havenith: Non-Destructive Characterization of Historic Nuclear Waste, 16.04.2017, AMNT 2017, Berlin.

Dr. Kettler, Klaß, Dr. Modolo et. al: PROcess of Radioactive MErcury Treatment under EU Safety Standards – PROMETEUS, KONTEC 2017, Dresden, 22.-24. März 2017.

Alicia Marcos Jiménez, Andreas Havenith, John Kettler, Marius Hirsch: Design and validation of a measurement facility adapted to the radiological characterization of mercury-containing waste, 26. Seminar Aktivierungsanalyse und Gammaskopie (SAAGAS 26), Wien, 20.-22. Februar 2017.

Projektsteckbrief PROMETEUS - PROcess of radioactive MErcury Treatment under EU Safety-standards veröffentlicht auf der Internetseite zum Projekt:  
<http://www.nuclear-training.de/prometeus.html>

Dr. John Kettler et. al: Process of Radioactive Mercury Treatment and Handling for Elimination under Safety-Standards – PROMETEUS, 47<sup>th</sup> Annual Meeting on Nuclear Technology, Hamburg, 10.-12. Mai 2016.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9194
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Friedrich-Schiller-Universität Jena	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Umsetzung von Schwermetallfarming zur nachhaltigen Landschaftsgestaltung und Gewinnung erneuerbarer Energien auf radionuklidbelasteten Flächen (USER)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> von 01.12.2014 bis 30.11.2018	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 988.374,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Dr. Dirk Merten	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> Dirk.Merten@uni-jena.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Im aktuellen Projektvorhaben sollen im Rahmen des FuE-Programms „Rückbau kerntechnischer Anlagen“ im Sinne einer Strahlenschutz-Vorsorge schwermetall- und radionuklidbelastete Substrate durch die Verwendung von Bioremediationsmethoden saniert und einer Nutzung zur Produktion von Energiepflanzen zugeführt werden. Dabei zielt das Projekt auf die Nutzung einer kostengünstigen, durch Mikrobiologie gesteuerten Phytosanierung, in der belastete Substrate über eine Durchmischung mit unbelastetem Boden konditioniert und kontaminierte Flächen neu konturiert werden können. Damit können kontaminierte Flächen genutzt werden, um erneuerbare Energien (Holz als Energieträger) zu produzieren, und parallel zur Sanierung zusätzlich Wertschöpfungspotentiale erschlossen werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Im Rahmen des Projektes werden zwei neue Testflächen angelegt. Die auf dem Testfeld Gessenwiese bereits vorhandenen Lysimeter werden neu befüllt. Es erfolgt die Installation von Grundwassermessstellen und bodenhydrologischen Messplätzen (Sickerwassermessstellen, automatische Probennehmer) auf einem neu eingerichteten Teil des Testfeldes „Gessenwiese“ sowie auf einer neuen Testfläche am Kanigsberg in Ostthüringen. Ziel ist die Bilanzierung der Stoffflüsse und Frachten der Radionuklide/Schwermetalle (R/SM) im System Boden-Wasser-Pflanze unter Verwendung verschiedener mikrobiologischer Additive sowie verschiedener Bodensubstrate.

Innerhalb des Projektvorhabens soll die Kombination einer Phytoextraktion in einer Krautschicht, die regelmäßig geerntet werden kann und somit R/SM entzieht, mit einer Produktion von nachwachsenden Rohstoffen durch Kurzumtriebsplantagen (KUP) von schnellwachsenden Bäumen, die einer Phytostabilisierungsstrategie entsprechen, entwickelt werden. Ein Fokus der Untersuchungen liegt dabei auf der Quantifizierung der Biomasse-Erträge und des R/SM-Transfers in die Pflanze. Weitere Schwerpunkte sind die Einflüsse der Bepflanzung und der Mikrobiologie (Einsatz von Bakterien, Mykorrhiza) auf die Mobilität und die Verteilung der Schadstoffe im Boden, der Austrag über das Sickerwasser sowie die Erosion. Begleitend sollen pflanzenphysiologische und mikrobiologische Parameter erfasst werden. Auf Grundlage von Topfversuchen werden spezifische Pflanzenmuster (Genotypen/Diversität) von R/SM-Akkumulatoren mit hoher Biomasseproduktion

charakterisiert, sowie Resistenzmechanismen der Pflanzen gegenüber R/SM durch biologische Zusatzpräparate aktiviert und modifiziert.

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

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Boniturarbeiten zur Ermittlung pflanzenspezifischer Parameter (Größe, Umfang, Anzahl, Vitalität) der gepflanzten Bäume wurden auf den Testarealen Gessenwiese und Kanigsberg fortgesetzt. Weiterhin erfolgte die jährliche mikrobielle Inokulation mit *Streptomyces mirabilis* (P16B-1) auf den Testflächen. Eine orts aufgelöste Analyse des Substrats erlaubte die Bestimmung der physikochemischen Parameter und der Elementgehalte. Bodenverlagerungsprozesse wurden durch hoch aufgelöste Befliegungen mit einer Drohne und nachfolgender Bearbeitung der Daten untersucht.

Ein repräsentativer Teil der Baumblätter wurde geerntet und der SM/R-Analytik zugeführt.

Für die Substrate aller Testflächen erfolgte die Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung und der Zellzahlen pro Gramm Substrat. DNA-abhängige Methoden wurden zur Bestimmung der Mikroflora eingesetzt. Weiterhin wurde der Einfluss von *Streptomyces mirabilis* (P16B-1) auf die Keimfähigkeit und das Wachstum von Kiefern untersucht und ein umfangreicher Gefäßversuch abgeschlossen, der in der Folge ausgewertet wird.

### **4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Bonitur, Ernte, hydrochemische Charakterisierung der Grund- und Sickerwässer sowie die Befliegung aller Testflächen zum Monitoring von Pflanzenparametern und Erosionsermittlung mittels hochauflösenden Aufnahmen werden fortgeführt und der Gefäßversuch ausgewertet.

Sequenzdaten zu den Mikrobiomanalysen und die Bestimmung des Mykorrhizierungsgrades von *F. rubra* werden analysiert.

### **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

Das Projektvorhaben baut auf den Erkenntnissen und auf den technischen Installationen des BMBF-Projektes „Maßnahmen zur Strahlenschutzvorsorge radioaktiv belasteter Großflächen durch Sanierung mittels Phytoremediation und anschließende Verwertung der belasteten Pflanzenreststoffe“ (PHYTOREST, Förderkennzeichen 02S8528) auf.

### **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Bizo M.L., Nietzsche, S., Mansfeld, U., Langenhorst, F., Majzlan, J., Göttlicher, J., Ozunu, A., Formann, S., Krause, K., Kothe, E. (2017) Response to lead pollution: mycorrhizal *Pinus sylvestris* forms the biomineral pyromorphite in roots and needles. Environ. Sci. Pollut. Res. 24, 14455-14462.

Kirtzel, J., Siegel, D., Krause, K., Kothe, E. (2017) Stone-eating fungi: Mechanisms in bioweathering and the potential role of laccases in black slate degradation with the basidiomycete *Schizophyllum commune*. Adv. Appl. Microbiol. 99, 83-101.

Kothe, E., Krause, K. (2017). Das A(h!) und O(h!) der Symbiose: Informationsaustausch in der Ektomykorrhiza. BIUZ 2/2017, 96-102.

Kothe, E., Pietschmann, S. & D. Fürst, D., Mirgorodsky, D., Merten, D. & G. Büchel (2017): USER: Use of land farming for energy plant production on heavy metal/radionuclide



contaminated areas. 13th International Symposium „Conditioning of Radioactive Operational & Decommissioning Wastes“ KONTEC 2017. Dresden.

Fürst, D., Pietschmann, S., Mirgorodsky, D., Merten, D., Büchel, G. & E. Kothe (2017): Influence of soil bacteria on the phytoremediation potential of different tree species on the test site Gessenwiese. MiCom 2017, March 20-23, Jena.

Mirgorodsky, D., Märten, A., Riefenstahl, M., Pietschmann, S., Fürst, D., Merten, D., Kothe, E. & G. Büchel (2017): Combining bioremediation methods with bioenergy production at field scale. 13th International Symposium „Conditioning of Radioactive Operational & Decommissioning Wastes“ KONTEC 2017. Dresden.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9276A
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2016 bis 31.05.2019	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 1.173.453,60 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Johannes Raff	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> j.raff@hzdr.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist es, einen Beitrag zur Strahlenschutz-Vorsorge zu leisten, indem untersucht werden soll, inwiefern auf der Basis eingebrachter myzelbildender Pilze eine schnelle, stabilere und quantitativ hohe Akkumulation von Radionukliden aus tiefer liegendem Erdreich und aus Wässern im Myzel zum Schutze der Umwelt (FSU, HZDR, VKTA) und zum Schutze von Nutzpflanzen (HZDR, IRS) möglich ist. Weiterhin sollen die dafür benötigten Analyseverfahren zur Bestimmung der Radionuklidspeziation in den Matrizen Boden, Wasser, Pilz (VKTA, IRS, HZDR) und Pflanze (IRS, HZDR) verbessert und Korrelationen zwischen der Radionuklidspezies und der -aufnahme untersucht werden. Weitere Aufgaben sind die Analysen der Bioverfügbarkeit der Radionuklide im Boden vor und nach dem Pilzwachstum sowie die Bilanzierung der gebundenen Radionuklide. Aufbauend auf die im Rahmen von Vorläuferprojekten erlangten Erkenntnisse zur Aufnahme von Radionukliden (Uraufnahme FKZ 2S8517) soll durch Grundlagenforschung, über anwendungsorientierte Laboruntersuchungen bis hin zu praxisnahen Verfahrensansätzen das Ziel in Form einer Machbarkeitsstudie erreicht werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 2.4 Fixierung Pilzkörper
- AP 3 Literaturrecherche & Auswahl Nutzpflanzen
- AP 6.4 Radionuklidspeziation in den Böden
- AP 7.2 Radionuklidbilanzierung Boden-Pilz
- AP 7.3 Speziationsuntersuchungen Boden und Pilz
- AP 7.4 Bewertung der Ergebnisse
- AP 9.4 Speziationsuntersuchungen Boden und Pflanze
- AP 11.3 Metall-/Radionuklidtransport in Hyphen
- AP 13.3 Untersuchung der Bodendurchdringung durch den Pilz
- AP 14 Projektmanagement und Berichtswesen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Arbeiten des VKTA zu AP 2.2 und AP 2.3 wurden weiterhin begleitet und unterstützt, um sicherzustellen, dass wichtige mikrobiologische Aspekte beim Versuchsaufbau und der Versuchsdurchführung berücksichtigt werden.

AP 2.4 Fixierung Pilzkörper: nach der Kultivierung auf Boden erfolgte die Fixierung mit Glutardialdehyd mit Hilfe etablierter Protokolle. Unter Verwendung verschiedener Lösungsmittel (Wasser, Alkohole und weitere Kohlenwasserstoffe) wurde eine Trennung Pilzmyzel/Bodenpartikel versucht. Trotz Fixierung konnte die Pilzbiomasse nicht vollständig vom Boden getrennt werden und war außerdem instabil. Um dennoch die im Projekt vorgesehenen Untersuchungen zu ermöglichen, haben IRS und FSU verschiedenen Gefäße zur konsequenten Kompartimentierung von Pilz und Boden auf Basis eines „Teeei-Designs“ getestet und ein vielversprechendes Verfahren durch Verwendung perforierter Eppendorf-Reaktionsgefäße entwickelt, das die Gewinnung von bodenpartikelfreier Biomasse ohne Behinderung der Wechselwirkung des Pilzes mit dem Boden und den Metallen/Radionukliden ermöglicht. Aktuell werden Möglichkeiten zur einfachen Bereitstellung einer ausreichenden Anzahl derartiger Gefäße eruiert.

AP 6.4 Radionuklidspeziation in den Böden: Zur Einschätzung des Einflusses von Pilzen auf die Speziation und Mobilität von Radionukliden in der Umwelt wurden Versuche zum Sekretionsverhalten der Pilze durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Pilze bereits bei Abwesenheit von Metallen verschiedene anorganische Ionen sekretieren. Bei Anwesenheit der Metalle im Medium konnte zudem ein Unterschied im Sekretionsverhalten im Vergleich zum Medium ohne Metall beobachtet werden. Weiterhin konnte für den Pilz *S. commune* ein verändertes Sekretionsverhalten hinsichtlich organischer Komponenten (z.B. Zuckern, organischen Säuren) in Abhängigkeit vom Metall festgestellt werden. Die Identifizierung der sekretierten organischen Verbindungen muss in weiteren Arbeiten erfolgen, einschließlich der Untersuchungen mit *L. naucinus*.

AP 7.2 Radionuklidbilanzierung Boden-Pilz: nach den grundlegenden Untersuchungen zur Radionuklidbindung von Pilzen mit Uran und Europium, wurden ebenfalls Bindungsexperimente der Pilze mit Cäsium und Strontium in Abhängigkeit von den Ausgangsbedingungen durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass der Pilz *L. naucinus* in den Laborexperimenten kein Cäsium bindet, weder bei unterschiedlichen pH-Werten noch bei unterschiedlichen Metallausgangskonzentrationen. Auch *S. commune* konnte nur geringe Mengen Cäsium von 5 mg pro 1 g Biotrockenmasse bei einer Metallausgangskonzentration von 50 mg/l und einem pH von 5, binden. Eine eindeutige pH-Abhängigkeit der Cs(I)-Bindung durch *S. commune* konnte nicht festgestellt werden. In weiteren Experimenten soll untersucht werden, inwiefern die Verwendung von Bodenextraktlösungen einen Einfluss besitzt und ob sich dadurch die Speziation und das Bindungsverhalten des Pilzes gegenüber Cs(I) verändert.

Ebenso wurde die Wechselwirkung beider Pilze mit Strontium untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Sr(II)-Bindung bei beiden Pilzen vom pH-Wert abhängig ist: bei einem pH-Wert von 6 wird mehr Sr gebunden als bei niedrigeren pH-Werten. Eine Variation der Sr(II)-Ausgangskonzentration im Bereich von 20-50 mg/l hatte jedoch keinen Einfluss auf die

Bindung durch *L. naucinus*. Demgegenüber sind die Bindungskapazitäten von *S. commune* von der Metallausgangskonzentration abhängig.

AP 7.3 Speziationsuntersuchungen Boden und Pilz: Um eine bessere Auflösung der U(VI)-Fluoreszenz-Spektren für die Bestimmung der Metallspeziation zu erhalten, wurden TRIFS-Messungen an unterschiedlichen uranhaltigen Pilzproben bei Tieftemperatur (-120°C) durchgeführt. Diese Spektren zeigen eine deutlichere Aufspaltung der U(VI)-Emissionssignale gegenüber denjenigen, die bei Raumtemperatur aufgenommen wurden. Außerdem konnte der Unterschied zwischen dem U(VI)-Spektrum von *S. commune* und des entsprechenden Spektrums von *L. naucinus* durch die Tieftemperaturmessung bestätigt werden. Darüber hinaus wurden fluoreszenzspektroskopische Untersuchungen an europiumhaltigen Pilzproben durchgeführt. Auch hier unterscheiden sich die erhaltenen Eu(III)-Emissionsspektren beider Pilze deutlich voneinander. Eine genauere Auswertung der Spektren erfolgt im nächsten Berichtszeitraum.

AP 11.3 Transport des Metalls in der Hyphe: Für die Transportuntersuchungen sollten zunächst einzelne Hyphen kultiviert werden. Der Versuch den Pilz über verschiedene Substrate (Cellophan, Glas, Nylon) wachsen zu lassen, um auf diese Weise einzelne Hyphen zu erhalten, war bislang nicht erfolgreich. Deshalb ist es geplant, die Versuche mit Pilzmyzel durchzuführen (siehe dazu Ausführungen unter Pkt. 4. „Geplante Weiterarbeit“). Weiterhin erfolgte die Kultivierung beider Pilze für IRS im Großmaßstab für die in AP 4.2, AP 9 und AP 13 durchzuführenden Arbeiten.

Die Bearbeitung des Arbeitspakets 9.4. erfolgt gemäß Zeitplan zu einem späteren Zeitpunkt.

#### **4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Zeitnah erfolgen erste Säulenexperimente zur Verwendung der modifizierten Eppendorf-Reaktionsgefäße zur Separation von Pilz und Boden und der Aufnahme von Metallen. Außerdem sollen weitere Experimente zur Speziationsuntersuchung von Metallen im Boden durchgeführt und durch weiterführende Arbeiten zur Untersuchung der Radionuklidbindung an Pilze unter naturnahen Bedingungen ergänzt werden. Dafür sollen Bindungsversuche mit Bodenextraktlösungen erfolgen. Außerdem sind in Kürze erste Experimente zur Untersuchung des Metall-/Radionuklidtransports in Hyphen in Zusammenarbeit mit der Light Microscopy Facility BIOTEC/CRTD in Dresden sowie im Rahmen des Forschungsaufenthalts an der Central Laser Facility (CLF)/OCTOPUS in Oxford im September und November geplant.

#### **5. Bezug zu andern Vorhaben**

Die Untersuchungen zum Einfluss des Pilzwachstums auf die Zusammensetzung umgebender Medien hinsichtlich anorganischer Ionen und organischer Verbindungen können auch für weitere Forschungsvorhaben, die sich mit dem Einfluss von Mikroorganismen auf das Migrationsverhalten von Radionukliden im Nah- und Fernfeld eines Endlagers für hochradioaktiven Abfall befassen von Bedeutung sein. So können der Verbrauch und die Freisetzung verschiedener Ionen zur Bildung von Sekundärphasen z.B. im Zuge einer Behälterkorrosion von Bedeutung sein. Ebenso können freigesetzte organische Verbindungen, wie Komplexbildner und organische Säuren, nicht nur zur Korrosion von

Behältermaterialien beitragen, sondern auch die Mobilität von Radionukliden erheblich erhöhen.

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

A. Wollenberg, A. Günther, J. Raff

Molecular interactions of *Leucoagaricus naucinus* with uranium(VI) and europium(III)

Wissenschaftlich-Technische Berichte HZDR-079, p. 53

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9276B
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2016 bis 31.05.2019	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 223.027,91 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Dr. Sina Großmann	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> Sina.Grossmann@vkta.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist es, einen Beitrag zur Strahlenschutz-Vorsorge zu leisten, indem untersucht werden soll, inwiefern auf der Basis eingebrachter mycelbildender Pilze eine schnelle, stabilere und quantitativ hohe Akkumulation von Radionukliden aus tieferliegendem Erdreich und aus Wässern im Mycel möglich ist. Aufbauend auf die im Rahmen von Vorläuferprojekten erlangten Erkenntnisse soll durch Grundlagenforschung, über anwendungsorientierte Laboruntersuchungen bis hin zu praxisnahen Verfahrensansätzen das Ziel in Form einer Machbarkeitsstudie erreicht werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Forschungsvorhaben umfasst folgende Teilaufgaben:

- Beschaffung und Bereitstellung von inaktiven und kontaminierten Boden aus einem Sanierungsvorhaben des VKTA (AP6)
- Beschaffung, Aufbau und Testung des Säulenversuchsstandes (AP2)
- Durchführung von Säulenversuchen unter Bedingungen der Aerationzone zur Abschätzung der Wachstumsgeschwindigkeit sowie Optimierung der Wachstumsbedingungen für zwei Pilzarten (AP2)
- Durchführung von Säulenversuchen unter Bedingungen wie etwa in der Aerationzone mit min. 2 Bodenarten unter Variation von Parametern; Radionuklidanalytik für die Pilzuntersuchungen; Analytische Auswertung und Bewertung der Ergebnisse; Studium des Radionuklidtransfers und der räumlichen Mycelausdehnung (AP7+AP8)
- Untersuchung des Transfers von Radionukliden in die oberirdischen Fruchtkörper der Pilze unter Verwendung von Pilzballen; Radionuklidanalytik der Fruchtkörper (AP11+AP8)
- Konzipierung, Herstellung und Testung von Pilzkompositmaterialien; Durchführung von Laborversuchen zur Reinigung einer mit Radionukliden kontaminierten Abwasserlösung und Radionuklidanalytik (AP12+AP8)

### 3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Fertigstellung der Testsäulen und des fahrbaren Gestells des Säulenversuchsstandes durch den Nachauftragnehmer (IKTS) und Aufstellung im Überwachungsbereich. (AP2)
- Ansetzen eines ersten Säulenversuches zur Untersuchung des Einflusses des Pilzes *S. commune* auf die Migration von Sr und Cs im Boden. Zwei der neuen Säulen wurden hierzu mit dem sterilisierten unkontaminierten VKTA-Boden befüllt. Der Boden in einer der Säulen wurde mit der Pilzkultur beimpft, während die andere Säule ohne Pilz als Referenz verbleibt. Die Säulen wurden beide zwei Monate mit Medium (CYM-T) im Intervall beregnet, um ein Durchwachsen des Pilzes im beimpften Boden zu gewährleisten. Der Versuch läuft aktuell noch. (AP7)
- Zur Untersuchung des Transfers von Sr und/oder Cs vom Boden in die oberirdischen Fruchtkörper von Pilzen wurden erste Versuche mit vier kommerziell erhältlichen „Pilzballen“ zur Pilzanzucht von *Agaricus bisporus* (weißer Champignon) angesetzt. Dabei wurde der Boden, auf dem die Fruchtkörper aufwachsen sollten, zuvor mit inaktiven Tracerlösungen von Sr und/oder Cs gemischt. Ein Referenzversuch ohne Tracerzugabe wurde zum Vergleich ebenfalls angesetzt. Nach ca. einem Monat konnten auf allen Pilzballen, außer dem mit Sr, Pilze geerntet werden. Zehn Tage später konnte auch auf dem mit Sr versehenen Pilzballen Pilze geerntet werden. Die Pilze wurden anschließend getrocknet und verascht. Die Analytik hierzu steht noch aus. Weitere Ernten sind möglich und sollen ebenfalls analysiert werden. (AP11)

### 4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Bereitstellung des kontaminierten Bodens aus einem VKTA-Sanierungsprojekt. Sortierung von Boden nach Kontamination, Siebung und Homogenisierung sowie radioanalytischer Untersuchung. (AP6)
- Tracerzugabe (inaktives Sr und Cs) zu den beiden Säulen des ersten Säulenversuches. Öffnen der Säulen und Aufarbeiten des Säulenmaterials für nachfolgende Analysen und Extraktionsschritte. (AP2 + AP8)
- Ansetzen weiterer Säulenversuche mit unterschiedlichen Böden (inaktiv, aktiv) und verschiedenen Pilzarten (*S. commune*, *L. naucinus*). (AP7)
- Analyse des Probenmaterials aus den ersten „Pilzballenversuchen“ mittels Mikrowellenaufschluss und ICP-MS. (AP8)
- Durchführen weiterer Versuche mit „Pilzballen“ zur Absicherung der Ergebnisse und mit weiteren Tracern (z.B. Uran, Sr-90, Cs-137...) und in weiteren Schritten auch mit verschiedenen Pilzarten (z.B. Steinchampignons, Braunkappen oder Austernpilzen...). (AP11)

### 5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

### 6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9276C
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Friedrich-Schiller-Universität Jena	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2016 bis 31.05.2019	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 307.573,20 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr. Erika Kothe	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> erika.kothe@uni-jena.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Es soll ermittelt werden, ob und wie das Potenzial mycelbildender Pilze genutzt werden kann, um Kontaminationen zu immobilisieren. Bei Pilzen kann zum einen ein starker Transfer in den Fruchtkörper erfolgen, zum anderen aber eine Retention im Myzel beobachtet werden. Hierdurch wird eine Migration aber auch eine Aufnahme in gegebenenfalls angebaute Nutzpflanzen reduziert oder verhindert. Ziel der mikrobiologischen Arbeiten an der FSU Jena ist es, die Pilze und ihre Möglichkeiten gezielt in der Zusammenarbeit mit den Projektpartnern zu charakterisieren um aus dem Verständnis des Verhaltens ausgewählter Radionuklide in der Geo- und Biosphäre ein Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge oder gegebenenfalls sogar zur Sanierung zu entwickeln. Für solche späteren Anwendungen sollen einerseits die Inokulation mit dem Pilz, aber auch eine Fixierung der Mycelien auf einer zu entwickelnden, wachstumsfördernden Unterlage geprüft werden.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Im Rahmen des Projektes werden Pilze auf ihre Leistungen im Sinne der Radionuklidimmobilisierung untersucht.

- AP1 Literaturrecherche, Auswahl und Festlegung der für die Matrices Erdreich und Abwasser aussichtsreichsten Pilzarten sowie kontinuierliche Aktualisierung der Literatur
- AP2 Kultivierung der ausgewählten Pilzarten
- AP7 Durchführung von Säulenversuchen zum Radionuklidtransfer Boden-Pilzmycel
- AP10 Bestimmung der mikrobiellen Diversität über 16S rDNA- bzw ITS-Sequenzanalysen
- AP11 Untersuchung des Transfers von Radionukliden in die oberirdischen Fruchtkörper der Pilze unter Verwendung von Pilzballen
- AP12 Beteiligung an der Konzipierung, Herstellung und Testung von Pilzkompositmaterialien
- AP13 Beteiligung an Freilandversuch mit Pilzen, Pflanzen und Pilz+Pflanze



### 3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- AP1: abgeschlossen
- AP2 : Die Kultivierung wird je nach Bedarf fortgeführt
- AP7: Erste Säulenversuche wurden in Rossendorf eingerichtet und werden gemeinsam ausgewertet
- AP11: Erste Pilzkulturen wurden mit den Projektpartnern angelegt
- AP12: Erste Versuche zur Konzipierung, Herstellung und Testung von Pilzkompositmaterialien sind erfolgt. So konnten Boden-Mikrokosmen eingerichtet und ein System zur Analyse der Pilzbiomasse ohne Verunreinigung durch Bodenpartikel etabliert werden. Versuche zur Etablierung von Nylonmembran-basierter Anzucht für den Einsatz in wässrigen Phasen sind erfolgt und zeigen, dass das Konzept umsetzbar ist.
- AP13: Durch den Projektpartner Hannover und unter Beteiligung der ukrainischen Partner konnte ein Testfeld eingerichtet werden. Freilandversuche mit Basidiomyceten im Testfeld der FSU sind mit Inokulation 2016 und 2017 begonnen.

### 4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Auswertung der Säulenversuche wird der Beginn des AP 10 sein, so dass Einflüsse auf das Mikrobiom getestet werden können. Eine Evaluierung von Sterilisationsverfahren, die für reduzierte Mikrobiome in Mikrokosmen nötig ist, soll zusätzlich erfolgen.

- AP7 Auswertung der Säulenversuche zum Radionuklidtransfer Boden-Pilzmycel
- AP10 Bestimmung der mikrobiellen Diversität über 16S rDNA- bzw ITS-Sequenzanalysen
- AP11 Weiterführung der Untersuchung des Transfers von Radionukliden in die oberirdischen Fruchtkörper der Pilze unter Verwendung von Pilzballen
- AP12 Weiterführung der Beteiligung an der Konzipierung, Herstellung und Testung von Pilzkompositmaterialien
- AP13 Beteiligung an Freilandversuch mit Pilzen, Pflanzen und Pilz+Pflanze

### 5. Bezug zu anderen Vorhaben

Die Arbeiten sind nur im Verbund möglich. Dazu werden insbesondere mit dem HZDR gemeinsame Promotionen betreut. Mit der Universität Hannover werden die Bedingungen für die Pflanzenversuche detailliert abgestimmt. Mit dem Partner aus der Ukraine werden die Feldversuche vorbereitet. Mit dem VKTA werden insbesondere die Pilzkompositmaterialien entworfen und getestet.

### 6. Berichte und Veröffentlichungen

- Henke C, Jung EM, Voit A, Kothe E, Krause K. 2016. Dehydrogenase genes in the ectomycorrhizal fungus *Tricholoma vaccinum*: A role for Ald1 in mycorrhizal symbiosis. J Basic Microbiol 56, 162-174.
- Kothe E. 2016. Signalmoleküle in der Mykorrhizasymbiose. In: Bayrische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.) Die Sprache der Moleküle - Chemische Kommunikation in der Natur. Rundgespräche Forum Ökologie, Bs. 45. Pfeil, München.

- Krause K, Henke C, Asiimwe T, Ulbricht A, Klemmer S, Schachtschabel D, Boland W, Kothe E. 2016. Biosynthesis and secretion of indole-3-acetic acid and its morphological effects on *Tricholoma vaccinum*-spruce ectomycorrhiza. *Appl Environ Microbiol* 81, 7003-7011 .
- Sammer D, Krause K, Gube M, Wagner K, Kothe E. 2016. Hydrophobins in the life cycle of the ectomycorrhizal basidiomycete *Tricholoma vaccinum*. *PLoS One* 11, e0167773
- Schindler F, Merbold L, Karlsson S, Sprocati AR, Kothe E. 2016. Seasonal change of microbial activity in microbially aided bioremediation. *J Geochem Explor* 174, 4-9
- Wagner K, Krause K, David A, Kai M, Jung EM, Sammer D, Kniemeyer O, Boland W, Kothe E. 2016. Influence of zygomycete-derived D'orenone on IAA signalling in *Tricholoma*-spruce ectomycorrhiza. *Environ Microbiol* 18, 2470-2480
- Wagner K, Krause K, Kothe E. 2016. Chemical communication between soil microorganisms, basidiomycetes and their tree host in the mycorrhizosphere. *Endocytobiosis Cell Res* 27, 47-55

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9276D
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Leibniz Universität Hannover	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.16 bis 31.05.19	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 416.504,40 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr. Steinhauser	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> steinhauser@irs.uni-hannover.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Rahmen des Verbundprojektes BioVeStRa sollen Pilze und Pflanzen mit einem hohen Anwendungspotenzial für ein Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge nach der Freisetzung von Radionukliden identifiziert werden. Hierbei wird untersucht, ob und in welchem Maße der gezielte Einsatz bodenlebender Pilze dabei helfen kann, mittellanglebige Radionuklide (besonders Sr-90, sowie Cs-137 und Am-241) auf kontaminierten Böden nachhaltig zu immobilisieren.

Bei dem interdisziplinären Projekt handelt es sich um eine Kooperation des Instituts für Radioökologie und Strahlenschutz der Universität Hannover, dem Institut für Mikrobiologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena, dem Institut für Ressourcenökologie am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, dem VKTA Dresden-Rossendorf und der State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kiev.

Ein Schwerpunkt des IRS ist dabei die Durchführung von Topfexperimenten mit Pflanzen und Pilzen in laboreigenen Klimaschränken, sowie, in Kooperation mit unseren Partnern in Kiev, die Betreuung eines Testfeldes in der Sperrzone von Tschernobyl (CEZ). Desweiteren bringt das IRS seine umfassende Kompetenz auf den Gebieten der Radioanalytik und orts aufgelösten Massenspektrometrie ein, um – neben der Beurteilung der Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens – Grundlagenkenntnisse über den Einfluss von Bodeneigenschaften und Biodiversität auf die Radionuklidspeziation in Böden, sowie den genauen Mechanismus der Radionuklidaufnahme durch Pilze zu gewinnen.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 3: Literaturrecherche Pflanzen
- AP 4: Kultivierung der Pflanzen
- AP 5: Tracerlösung
- AP 6: Beschaffung/Charakterisierung kontaminierter Böden
- AP 7: Säulenversuche zum RN-Transfer Boden-Pilzmycel
- AP 9: Topfversuche mit Pflanzen
- AP 10: Bestimmung der mikrobiellen Diversität
- AP 13: Freilandversuche mit Pilzen, Pflanzen und Pilz-Pflanze

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

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

*AP 3:* Aktuelle Publikationen in Fachzeitschriften wurden gesichtet und relevante Publikationen in die Literaturdatenbank eingepflegt.

*AP 4:* Als Vorexperiment zur Arbeit mit Pilzen und Pflanzen wurden die ausgewählten Projektböden mit Pilzkulturen beimpft (*Schizophyllum commune* - S.C., *Leucoagaricus naucinus* – L.N., erbrütet durch den Projektpartner HZDR). Das Wachstum der Pilzkulturen auf den Böden war wenig zufriedenstellend, so dass, in Absprache mit den Partnern aus Jena und Dresden die Arbeitsabläufe diskutiert und für die zukünftigen Experimente optimiert wurden.

*AP 5:* Sr-85 zur Durchführung der Pflanzenexperimente in unseren Klimaschränken wurde beschafft.

*AP 6.1:* Vom in vorangegangenen Arbeiten charakterisierten Boden des Versuchsfeldes in der CEZ wurde ausreichend Material zur Durchführung der anstehenden Experimentes mit Pflanzen und Pilzen in den Klimaschränken unseres Institutes beschafft.

*AP 6.3:* Die bodenkundliche Charakterisierung der verwendeten Böden wurde weitestgehend abgeschlossen. Für alle drei verwendeten Böden liegen bislang Werte zu folgenden Charakteristika vor: Körnung, Fe-, Al- und Mn-Sesquioxidgehalt (oxalat- und dithionitlöslich), Kationenaustauschkapazität (effektiv und potentiell), sowie pH. Die Analyse von Gesamt-, sowie organischem C stehen zur Zeit an. Der im Projekt verwendete Podsol-Boden (Ap-Horizont) aus der Sperrzone in Tschernobyl (CEZ) wurde als mittel-schluffiger Sandboden (Su3) identifiziert,  $\text{pH}(\text{CaCl}_2) = 5,6$ . Bei dem im Projekt verwendeten Boden des Projektpartners VKTA, handelt es sich um einen Sandboden (Ss),  $\text{pH} = 7,4$ . Der verwendete Referenzboden wurde ebenfalls laborintern untersucht und erwartungsgemäß als leicht schluffiger Sand (Su1),  $\text{pH}(\text{CaCl}_2) = 5,3$  klassifiziert.

*AP 6.4:* Die Messung der Cs-137-Gehalte des Tschernobylbodens in den Extrakten der sequentiellen Extraktion nach Zeien & Brümmer (1989) zur Radionuklidspieziation wurde abgeschlossen. Die Auswertung ist noch im Gange. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich das Cs-137 zu über 95% in der letzten Extraktionsfraktion (rauchende konz. Salpetersäure + Perchlorsäure), sowie im Extraktionsrückstand (Skelett) befindet.

*AP 13:* Die Arbeiten in diesem AP wurden aufgrund des verzögerten Projektstartes und der jahreszeitlichen Abhängigkeit vorverlegt. Das Testfeld in der CEZ wurde oberflächlich vom Wildwuchs befreit und umzäunt (Schutz vor Wildtieren). In einer Exkursion im Mai wurden Kartoffeln und Winterroggen angepflanzt und mit Pilzkulturen beimpft (S.C. + L.N. vom HZDR, Kontrolle). Die Pflanzen werden seitdem von unserem Kooperationspartner regelmäßig gegossen und von dem schnell wieder wachsendem Unkraut befreit, soweit dies nicht durch die ausgebrachten Unkrautvliese geschieht und das Wachstum der Nutzpflanzen direkt beeinträchtigt wird (siehe Abbildung 1 u. 2).



Abbildung 1: Vorbereitung des Testfeldes. 17.05.2017.



Abbildung 2: Status der Pflanzen nach drei Wochen . Links Winterroggen. Rechts Kartoffel.

#### 4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 3: Neu erscheinende Literatur wird gesichtet und in die Literaturdatenbank eingepflegt.

AP 5: Tracer-Lösung wird den Kooperationspartnern kurzfristig, bei Bedarf zur Verfügung gestellt.

AP 6.4: Die Messung der Sr-90-Gehalte des Tschernobylbodens in den Extrakten der sequentiellen Extraktion nach Zeien & Brümmer (1989), sowie der Abschluss der Cs-137 Auswertung werden derzeit im Rahmen einer Masterarbeit erarbeitet, deren Abschluss für Januar 2018 vorgesehen ist.

AP 9: Die Vorversuche mit Böden und Pilzen (ohne Pflanzen) zur Optimierung der Wachstumsbedingungen und zur Untersuchung des Einflusses der Pilzkulturen auf die Sr-Mobilität werden teilweise wiederholt. Topfexperimente mit Pilzen und Pflanzen auf den Böden des Projektes werden in unseren Klimaschränken durchgeführt. Hierbei steht der Einfluss der Pilzbeimpfung auf Transferfaktoren in die verschiedenen Pflanzenkompartimente im Vordergrund. Des Weiteren soll der Einfluss der Pilzbeimpfung auf biologische (antioxidant and antioxidant enzymes) und bodenkundliche (pH und eH) Parameter betrachtet werden.

AP 13: Das Wachstum der Pflanzen in der CEZ wird von unserem Kooperationspartner vor Ort in enger Absprache mit uns regelmäßig kontrolliert und uns unter anderem über regelmäßig aufgenommene Fotos zugänglich gemacht. Auf Basis dieser Kommunikation werden möglicherweise notwendig werdende Maßnahmen zum Schutz und zur Pflege der

Pflanzen abgesprochen. Im Herbst ist eine weitere Exkursion geplant, um die Ernte und mögliche Probenaufbereitungen vor Ort durchzuführen, sowie die gewonnenen Proben in unser Labor zu überführen. Der genaue Termin richtet sich nach dem weiteren Fortschritt des Pflanzenwachstums.

## **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

Die hier gesammelten Erfahrungen erweisen sich als überaus hilfreich bei derzeit laufenden Überlegungen und Konzeptentwicklungen für ein Verbundprojekt zum Thema „Biokorrosion“ im Bereich der endlagerrelevanten Forschung.

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Gupta DK, Walther C, Deb U, Chatterjee S (2017) Strontium in the ecosystem: Transfer in plants via root system. In: Gupta DK, Walther C (Eds.), Behaviour of Strontium in Plants and the Environment. Springer, Germany (*im Druck*).

Chatterjee S, Sarma MK, Deb U, Steinhauser G, Walther C, Gupta DK (2017) Mushrooms: from nutrition to mycoremediation. Environmental Science and Pollution Research (*Manuskript eingereicht. Derzeitiger Status der Revision: Geringfügige Überarbeitung nötig*).

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9082A
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Technische Universität Clausthal, Adolph-Roemer-Straße 2a, 38678 Clausthal-Zellerfeld	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Bildung einer Forschungsplattform Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen (ENTRIA)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2013 bis 31.12.2017	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 11.417.052,00 €
<b>Projektleiter:</b> Prof. Dr. Klaus-Jürgen Röhlig	<b>E-Mail-Adresse des Projektleiters:</b> klaus.roehlig@tu-clausthal.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Forschungsplattform ENTRIA befasst sich mit Optionen zur Entsorgung hochradioaktiver (wärme-entwickelnder) Reststoffe. Ausgehend vom aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik zur nuklearen Entsorgung soll disziplinäre und interdisziplinäre Forschung zu folgenden technischen Schlüsseloptionen betrieben werden: Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit („wartungsfreie Tiefenlagerung“), Einlagerung in tiefen geologischen Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit sowie Oberflächenlagerung.

ENTRIA zielt auf eine Förderung des wissenschaftlichen Austauschs und der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen den mit der Entsorgung radioaktiver Reststoffe befassten Natur-, Ingenieur-, Geistes-, Rechts- und Sozialwissenschaftlern, auf die Durchführung einschlägiger Forschung sowie auf eine disziplinäre und interdisziplinäre Aus- und Weiterbildung wissenschaftlichen Nachwuchses ab. Die Plattform führt die Ergebnisse zu den technischen Schlüsseloptionen sowie einschlägige Resultate anderer Einrichtungen zusammen.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Vorhaben unterscheidet zwischen Vertikal- und Transversalprojekten. Die Vertikalprojekte befassen sich systematisch mit ausgewählten Aspekten jeweils einer der drei Entsorgungsoptionen. Die Transversalprojekte untersuchen hingegen mehrere Entsorgungsoptionen hinsichtlich übergreifender Aspekte. Sie tragen entscheidend zum Erreichen der übergreifenden Ziele der Plattform bei und stellen die Interdisziplinarität sicher.

Transversalprojekt „Synthese, Koordination und Kommunikation“ (2 AP)

Transversalprojekt „Technikfolgenabschätzung und Governance“ (4 AP)

Transversalprojekt „Ethisch-moralische Begründung, rechtliche Voraussetzungen und Implikationen“ (2 AP)

Transversalprojekt „Interdisziplinäre Risikoforschung“ (6 AP)

Vertikalprojekt „Endlagerung in tiefen geologischen Formationen ohne Vorkehrungen zur Rückholbarkeit (wartungsfreie Tiefenlagerung)“ (3 AP)

Vertikalprojekt „Einlagerung in tiefen geologischen Formationen mit Vorkehrungen zur Überwachung und Rückholbarkeit“ (7 AP)

Vertikalprojekt „Oberflächenlagerung“ (3 AP)

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

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

#### Transversalprojekte, u. a.

- Bearbeitertreffen, AP-Leiter-Treffen, Beiratstreffen, Präsenzveranstaltung Evaluierung, Synthesebesprechungen, TP4-Workshop, Autorenworkshop Sammelband „Zwischenlagerung“, Programmkomiteesitzungen Abschlusskonferenz, Seminarveranstaltung „Atomrecht“ (TU BS)
- Fortführung der Schriftenreihe „ENTRIA-Arbeitsberichte“
- AP 3.2: Mehrere Rechtsgutachten zum Standortauswahlgesetz
- AP 4.2: Weitere Strahlungstransportrechnungen für Endlagerbehälter (ENCON)
- AP 4.3: Vervollständigung und Überarbeitung der Risikokarte

#### Vertikalprojekte, u. a.

- AP 5.2: Benchmark-Simulationen für den FTK-Simulator (Partner: BRIUG)
- AP 5.2: Kalibrierungsversuche für die Versuchsanlage (2-Phasen-Fluss-Prozesse)
- AP 5.3: Konzeptionelles Modell zur Ausbreitung von Cs-135 und Cs-137 im Deckgebirge, PHAST-Modellierungen
- AP 6.1 – 6.4: Numerische Berechnungen zur Tiefenlagerauslegung mittels FLAC3D
- AP 6.1 – 6.4: Weiterbildung Tiefenlagerung (Wintersemester 2016/2017)
- AP 6.5 / 6.6: Entwicklung von Sensorkonzepten, Untersuchung der Entwicklung der technischen Barriere über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten
- AP 7.1 – 7.3: „Zwischenlager-Weltkarte“ weiterentwickelt und online gestellt

### **4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

#### Transversalprojekte, u. a.

- Organisation und Durchführung der ENTRIA-Abschlusskonferenz
- Fertigstellung weiterer Arbeitsberichte
- AP 4.1: Benutzerhandbuch ReSUS
- AP 4.2: Abschluss der Strahlungstransportrechnungen für Endlagerbehälter (ENCON)
- AP 4.3: Buchprojekt zur vergleichenden Risikobewertung

#### Vertikalprojekte, u. a.

- AP 5.1 / 5.2 / 6.7mod: Weitere Simulationen an 3D-Globalmodellen sowie Benchmark-Simulationen mit dem LBNL
- AP 5.1: Fortführung laborativer Untersuchungen zur druckgetriebenen Infiltration von Gas im Steinsalz und zur Porendruckentwicklung im Salzgrusversatz
- AP 5.2: Implementierung weiterer Funktionalmodelle in den FTK-Simulator
- AP 5.2: Konstruktion einer Versuchsanlage zur Untersuchung des 2-Phasen-Flusses
- AP 6.7mod: Simulation zum Einfluss der Überwachungssohle auf die Barrierenintegrität
- AP 6.1 – 6.4: T-M-gekoppelte Rechnung von Einlagerungsstrecken in der Betriebsphase
- AP 6.5 / 6.6: „SMART-ENCON“: Zusammenführung von ENCON-Konzept und Monitoring



## 5. Bezug zu anderen Vorhaben

Die in diesem Bericht dargestellten Arbeiten erfolgten im Rahmen des Verbundprojekts ENTRIA und wurden in Kooperation mit den Forschungspartnern (Förderkennzeichen B-E) durchgeführt.

## 6. Berichte und Veröffentlichungen

- Driftmann, C.: Das Endlagerkonzept des einschlusswirksamen Gebirgsbereichs – eine interdisziplinäre Betrachtung, Berliner Wissenschafts-Verlag, Berlin 2017
- GAIA-Schwerpunktheft „Jahrhundertprojekt Endlagerung“ mit sieben Beiträgen von niedersächsischen ENTRIA-Autoren
- Leon Vargas, R.; Stahlmann, J.; Mintzlaff, V.: Thermal impact in the geometrical settings in deep geological repositories for HLW with retrievability and monitoring. IHLRWM 2017, Charlotte, NC, April 9-13, 2017
- Lux, K.-H.; Wolters, R.; Zhao, J.; Rutenberg, M.; Feierabend, J.; Pan, T. (2017): TH2M-basierte multiphysikalische Modellierung und Simulation von Referenz-Endlagersystemen im Salinar- und Tonsteingebirge. ENTRIA-Arbeitsbericht-07
- Lux, K.-H.; Wolters, R.; Zhao, J. (2017): Auf dem langen Weg zu einem Endlager für hochradioaktive Wärme entwickelnde Abfälle. Drei Teile, atw 62 (2017), Issues 3-5
- Poenitz, E.; Walther, C.: Calculation of Dose Rates at the Surface of Storage Containers for High-Level Radioactive Waste, Radiat Prot Dosimetry (2017), 1-12  
DOI: 10.14512/gaia.26.2.13
- Röhlig, K.-J.; Bozau, E.; Chaudry, S.; Di Nucci, M.R.; Hassel, T.; Hocke, P.; Köhnke, D.; Lux, K.-H.; Plischke, E.; Riemann, M.; Smeddinck, U.; Walther, C. (Red.): Bericht zur Evaluierung des Forschungsvorhabens ENTRIA 2017, März 2017, Clausthal-Zellerfeld
- Smeddinck, U. (Hrsg.): Standortauswahlgesetz – Kommentar. Berliner Wissenschafts-Verlag, Berlin 2017
- Walther, C.; Hocke, P.; Röhlig, K.-J.; Smeddinck, U.: ENTRIA - Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle, 20. Sommerschule für Strahlenschutz der Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung vom 26. bis 30. Juni 2017 in Berlin

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9082B
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Freie Universität Berlin, Forschungszentrum für Umweltpolitik	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Bildung einer Forschungsplattform Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen (ENTRIA)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> von 1.1. 2013 bis 31.12.2017	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 997.176 €
<b>Projektleiter/-in:</b> PD Dr. Achim Brunnengräber	<b>E-Mail-Adresse des Projektleiters:</b> achim.brunnengraeber@fu-berlin.de

### 1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel ist die politik- und sozialwissenschaftliche Analyse der Entwicklung einer Endlagerungsstrategie für nukleare Abfälle in Deutschland. Einen Schwerpunkt bildet die Analyse von Akzeptanzfragen und Konfliktlagen sowie deren Regelungsmechanismen. Ferner wird eine international vergleichende Analyse von Endlagerungs-Governance durchgeführt. Das Teilprojekt ist in den Transversalprojekten „Koordination und Kommunikation“ sowie „Technikfolgenabschätzung und Governance“ verankert.

### 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- Modul 1 Akteurs-Analysen (gemeinsam mit ITAS)
- Modul 2 Akzeptanz und Konflikte
- Modul 3 Governance im Mehrebenen-System
- Modul 4 Endlagerungskonzepte und Optionen im internationalen Vergleich
- Modul 5 Politikinstrumente und Institutionen

### 3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Arbeit an allen Modulen wurde fortgesetzt. Darüber hinaus hat sich das FFU an der Vorbereitung des Berichtes zur Evaluierung des Forschungsvorhabens ENTRIA beteiligt und an der „Präsenzveranstaltung“ beim Bundesforschungsministerium am 08.06.2017 teilgenommen.

Das M 1 dient der Identifikation von Schlüsselakteuren und deren Interessen, ihrer Wertesysteme und Ansichten und der Sondierung, ob es Wege für konstruktive Dialoge und Problemlösungen gibt. Nach der Veröffentlichung der 226 Seiten Bericht mit einer Beschreibung von über 300 Akteuren wurde ein weiterer Baustein für den Abschluss dieses Moduls erarbeitet. Die Konzeption für eine Tagung wurde entwickelt, welche sich mit der jahrzehntelangen Polarisierung, die den „Atomkonflikt“ in Deutschland zwischen dem Staat und der Nuklearindustrie auf der einen und der Anti-Atom-Bewegung auf der anderen Seite noch heute prägt, beschäftigen wird. In der zweitägigen Veranstaltung, die Ende Oktober 2017 stattfinden soll, sollen mit relevanten Akteuren die Themenfelder und Policy-

Instrumente (Modul 5) identifiziert und diskutiert werden, die eine solche „Vergangenheitsbewältigung“ ermöglichen können.

Im M 2 wurden mehrere Beiträge einer im September 2016 stattgefundenen Konferenz editiert sowie die Konzeption und Vorarbeit für einen Sammelband durchgeführt, der Ende 2017 erscheinen soll. Akzeptanzfragen, Freiwilligkeit sowie das NIMBY-Phänomen wurden außerdem in einem Artikel diskutiert, der bei „European Policy Analysis“ eingereicht wurde und im Peer Review Verfahren ist [1].

Im M 3 hat das FFU federführend den Schwerpunkt „Jahrhundertprojekt Endlagerung“ in der Zeitschrift GAIA (doppelblind-reviewed) konzipiert und herausgegeben. Das Heft ist Juni 2017 erschienen und beinhaltet 9 Beiträge, die vor allem von ENTRIA-MitarbeiterInnen in interdisziplinären Teams verfasst wurden. Das FFU-Team hat sich an der Verfassung mehrerer Artikel beteiligt ([2]; [3]; [4]; [5]; [6]). Zum Multi-Level Problem der Endlagerung wurde ein weiterer Artikel verfasst, der sich ebenfalls im Peer Review Verfahren beim internationalen „European Policy Analysis“ befindet [7].

Im M 4 wurden Governance-Konzepte und Formen von Öffentlichkeitsbeteiligung in verschiedenen Ländern gesichtet, ausgewertet und analysiert. Die Arbeit am Sammelband „Nuclear Waste Governance. An International Comparison. Vol II“ (Springer VS) wurde weitgehend abgeschlossen. Das Buch analysiert die Endlager-Governance in weiteren 12 Ländern und komplementiert somit Vol I. Die Druckfahne wird im Juli 2017 an den Verlag übergeben.

Im M 5 wurden Policy-Instrumente, Sicherheitskriterien, Monitoring-Systeme, Regulierung von Rückholbarkeit, Kompensationslösungen, etc. sowie wissenschaftliche und politische Institutionen und Prozesse, die mit der nuklearen Entsorgung verbunden sind, analysiert und bewertet. Die sozio-ökologischen Herausforderungen im Zeitalter des Anthropozän wurden in [8] diskutiert. Ferner ist ein Artikel, der auf einen komparativen Vergleich der Partizipationsprozesse und Kompensationen beim Standortauswahlverfahren in vier Ländern fokussiert, beim „Progress in Nuclear Energy“ eingereicht worden. Er wurde nach dem Peer Review zur Publikation freigegeben. Er wird voraussichtlich noch in 2017 erscheinen [9].

#### **4. Geplante Weiterarbeiten (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)**

In den nächsten sechs Monaten sind folgende Aktivitäten geplant:

- M1 Durchführung des Workshops über „Aufbereitung der Vergangenheit“ am 27.-28.10.2017.
- M2: Herausgabe des Sammelbands über Konflikte und Akzeptanz, der Ende 2017 (Vol III, Springer VS) erscheinen soll.
- M3: Vorbereitung und Präsentation eines Beitrags für die ENTRIA-Abschlusskonferenz.
- M4: Veröffentlichung des Buches „Nuclear Waste Governance. An International Comparison. Vol. II“ (Springer VS). Aktualisierung, Fertigstellung und Einbettung von 12 Fact-Sheets in den Endlager-Atlas, der vom Projektpartner an der TU Braunschweig vorbereitet wird. Vorbereitung und Teilnahme an einem Workshop über „Nuclear waste Governance“ im Rahmen des 21th REFORM Group Meeting in Salzburg am 29.09.2017.

- M5: Artikel über die Taxonomie der Freiwilligkeit im Standortsuchverfahren. Veröffentlichung des Buches „Nuclear Waste Governance. An International Comparison. Vol. III, Workshop (M1)

## 5. Bezug zu anderen Vorhaben

Die Module 1 und 4 werden arbeitsteilig mit ITAS bearbeitet. Alle Module haben Querverbindungen zu Teilprojekten mit interdisziplinären Schnittstellen, insbesondere zu denen, die internationale Erfahrungen und Möglichkeiten der Übertragung von erfolgreichen Politikinstrumenten beinhalten.

## 6. Berichte und Veröffentlichungen

- [1] Di Nucci, M. R.; Brunnengräber, A.: In whose backyard? The wicked problem of siting nuclear waste repositories. Eingereicht bei *European Policy Analysis* (under review)
- [2] Brunnengräber, A (2017): Jahrhundert Projekt Endlagerung, *Gaia 2/2017*, 94-95.
- [3] Brunnengräber, A; Görg, C. (2017): Nuclear Waste in the Anthropocene, *Gaia 2/2017*, 96-99.
- [4] Budelmann, H, Di Nucci, M.R.; Isidoro Losada, A.M., Köhnke, D.; Rreichardt, M. (2017): Auf dem Weg in die Endlagerung: Die Notwendigkeit der langfristigen Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle. *Gaia 2/2017*, 110-113.
- [5] Röhlig, K.; Häfner, D.; Lux, K.H.; Hassel, Th.; Stahlmann, J. (2017): Einschluss ohne Zugriff. *Gaia 2/2017*, 114-117.
- [6] Jänsch, E.; Brunnengräber, A.; v. Hirschhausen, Ch.; Möckel, Ch. (2017): Wer soll die Zeche zahlen? *Gaia 2/2017*, 118-120.
- [7] Hocke, P.; Brunnengräber, A.: The Multi-Level Problem of Nuclear Waste Disposal. On the investigation of the impact of technological and infrastructure conflicts on the decision-making system of Germany. Eingereicht bei *European Policy Analysis* (under review)
- [8] Themann, D.; Brunnengräber, A. (2017): Sozialökologische Herausforderungen im Zeitalter des Anthropozän. Das Beispiel der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle, in: Müller, M. C. M. (Hrsg) (2017): Endlagersuche. Wie steht es um die Vorbereitung der Entsorgung radioaktiver Abfälle Deutschland? Reihe Loccum Protokolle Band 27/16, Rehburg-Loccum 2017, 11-28.
- [9] Di Nucci, M. R.; Isidoro Losada, A. M.; Brunnengräber, A.: From the „right to know“ to the „right to object“. A comparative Perspective on Participation and Acceptance in Siting Procedures for HLW Repositories. *Progress in Nuclear Energy* (im Erscheinen).

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9082C
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> CAU Kiel, 24118 Kiel	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Bildung einer Forschungsplattform Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen (ENTRIA)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2013 bis 31.12.2017	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 572.664,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr. Konrad Ott	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> ott@philsem.uni-kiel.de

### 1. Zielsetzung des Vorhabens

Aufgabe des Transversalprojektes und der einzelnen Teilprojekte ist eine umfassende ethische Explikation und Beförderung von Rechtfertigungsrationale für eine konsensuale Endlagersuche. Dazu zählt die Entwicklung von Abwicklungskriterien unter diskursethischen Beurteilungsmodellen sowie die Entwicklung eines Suchprozesses, der von allen Beteiligten als gerecht empfunden werden kann. Des Weiteren stellt die Durchführung eines Verfahrens der Bürgerbeteiligung (Bürgerforum) eine zentrale Wegmarke da. Unter demokratietheoretischen Gesichtspunkten sollen ferner Konfliktbearbeitung und der Umgang mit Dissensen verbessert werden, um die Legitimität von Entscheidungen zu erhöhen.

### 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- Begriffsanalyse
- Operationalisierung der Begriffe
- Literaturrecherche und -auswertung
- Entwicklung von Kriterien für die Bewertung der möglichen Entsorgungsoptionen und ihrer Standorte
- Normative Analyse der politischen Positionen und legislativen Prozesse
- Identifikation der Bedingungen einer diskursiven Rechtfertigung von Standort- und Optionsbestimmungen
- Konzeptionelle Entwicklung eines modularen Verfahrenskonzeptes zu einer transparenten und fairen Standortsuche
- Konzeption, Durchführung und Auswertung eines Delphi-Verfahrens unter Experten
- Konzeption, Durchführung und Auswertung eines Bürgerforums
- Aufbereitung der Teilprojekte 1-7 für die wissenschaftliche Politikberatung
- Kontinuierliche und angebotsorientierte Zuarbeit für die Forschungsplattform.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Kontinuierliche Erweiterung des Begriffsfeldes um relevante Konzepte, sowie die Analyse ihrer Implikationen. Fortsetzung der Archivierung von aktueller Forschungsliteratur.
- Kontinuierliche Führung eines Pressespiegels zur Endlagerung und Energiewende.
- Weiterarbeit an Bewertungsgrundlagen, Synthese und Projektabschluss.
- Mitarbeit im Programmkommittee der Abschlusskonferenz; Konzeption zweier Sessions; Einwerbung einer Keynote.
- Inhaltliche Mitgestaltung des AP-Bearbeitertreffens und des Beiratstreffens
- DELPHI-Studie:
  - Februar bis April: Befragungslaufzeit
  - Mai, Juni und Juli: Auswertung der zweiten Fragerunde, Beginn Dokumentation
  - Redaktionelle Arbeit an der Interdisziplinaritäts-Broschüre zusammen mit Sophie Kuppler, Erik Pönitz, Elmar Plischke und Christian Tzschentke.
  - Herausgabe der Plädoyers und Gegenreden als ENTRIA-Arbeitsbericht (mit S. Chaudry, in Vorbereitung)
  - Konzeption einer Monographie zu DELPHI-Studie und Bürgerforum

#### **4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)**

- Arbeit am Synthesebericht.
- Auswertung des Kommissionsberichtes auf Aspekte der Verfahrensgerechtigkeit.
- Vergleichende Analyse der Ergebnisse von Bürgerforum und DELPHI-Studie.

#### **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

Keine Angaben.

#### **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Bimesdörfer, K., Oerding, S., Riemann, M. (2016): Endlager benötigen eine gesellschaftliche Betriebserlaubnis. In: Brunnengräber et al.: Problemfalle Endlager. Baden-Baden: Nomos.

Köhnke, D., Riemann, M. (2016): Interdisziplinarität als Induktion – Von Ingenieuren und Philosophen. In: Chaudry et al.: Inter- und Transdisziplinarität bei der Entsorgung radioaktiver Reststoffe. Wiesbaden: Springer

Ott, K., Semper, F.: Zukunftsverantwortung bei der Endlagerung von radioaktiven Reststoffen. GAIA-Schwerpunkt 2/2017: Jahrhundertprojekt Endlagerung. S. 100-102.

Riemann, M., Walther, C.: Wie viel Strahlendosis für wen? Lange Lagerung, Offenhaltung und ein langer Entsorgungsprozess bedeutet zusätzliche Dosis für Beschäftigte. GAIA-Schwerpunkt 2/2017: Jahrhundertprojekt Endlagerung. S. 106-109.

Budermann, H., Ott, K. (Im Erscheinen): Vielleicht doch nicht unter die Erde... Köhnke et al.:  
Sammelband Oberflächenlagerung.

Riemann, M. (Im Erscheinen): Gerechtigkeit an der Oberfläche. Köhnke et al.: Sammelband  
Oberflächenlagerung.

Heidbrink, L., Ott, K., Riemann. (In Vorbereitung): Freiwilligkeit, Bereitschaft und  
Verantwortung für Umweltlasten. (Werkstattgespräch Freiwilligkeit).

Köhnke, D., Riemann, M. (In Vorbereitung): Wait and Act! A Normative and Engineering  
Approach to Surface Storage of HLW.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9082D
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Bildung einer Forschungsplattform Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen (ENTRIA)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 1.1.2013 bis 31.12.2017	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 958.977,70 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Dr. Peter Hocke-Bergler	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> hocke@kit.edu

### 1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Suche nach innovativen Sachlösungen bei den drei Schlüsseloptionen der nuklearen Entsorgung in Deutschland in einem optimierten Verfahren bedarf systematischer ‚Gegenwartsdiagnose und Problemdefinition‘ sowie einer vertieften Reflexion über vorhandene und zu schaffende Schnittstellen, die die Einbindung der formellen und informellen Entscheidungsprozesse unter zivilgesellschaftlichen Bedingungen sicherstellen. Dazu sind plausible Governance-Konzepte und Handlungsoptionen zu präzisieren.

### 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

ITAS-A: „Governance 1: Gegenwartsdiagnose und Problemdefinition“

ITAS-B: „Governance 2: Schnittstellen zwischen formellem und informellem Prozess“

ITAS-C: „Auswege aus klassischen Dilemmata der Entscheidungsfindung“

ITAS-D / FU Berlin: „Auswertung internationaler Erfahrungen anhand ausgewählter Staaten“ (Internationaler Vergleich)

ITAS-E: Gemeinschaftsaufgaben und akademische Selbstorganisation: Koordination TP2 „TA und Governance“, Mitarbeit im ENTRIA-Sprecherrat u. AP-übergreifende Kooperation

ITAS-F: Explorative TA-Mikrostudie

ITAS-G: Ausbildung

### 3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- *ITAS-A / Governance 1*: Aktualisierung der Grundkonzeption und Vertiefung der Fragen zum aktuellen Stand der sozialwissenschaftlichen Partizipationsforschung: Überarbeitung eines ITAS-ENTRIA-Arbeitsberichts zum Stand der Forschung („Partizipation als Herausforderung für Demokratie und Governance“); ein Aufsatz, der aus dem AP-übergreifenden Vortrag "Nukleare Entsorgung als Mehrebenenproblem. Zur Untersuchung der Wirkung von Technik- und Infrastrukturkonflikten im deutschen Entscheidungssystem" (Hocke/ Brunnengräber) entstanden ist, wurde ins Englische übersetzt und bei einer internationalen Zeitschrift eingereicht („The Multi-Level



Problem of Nuclear Waste Disposal: On the Investigation of the Impact of Technological and Infrastructure Conflicts on the Decision-making in Germany“).

- *ITAS-B / Governance 2*: Konzeptidee von Langzeitinstitutionen, technischem Monitoring und Long-term-Stewardship (in Zusammenarbeit mit einem interdisziplinären Team aus ENTRIA-Partnern): Konzeption eines interdisziplinären Sammelbandes, Durchführung eines Autorenworkshops mit Diskussion der ersten Manuskripte (Juni 2017 in Kassel). Zwei AP-übergreifende interdisziplinäre Beiträge in einer ISI-referierten Zeitschrift (Hocke/Smeddinck 2017 und Drögemüller/Kuppler 2017) sind erschienen.
- *ITAS-C / Auswege aus klassischen Dilemmata der Entscheidungsfindung*: Fortsetzung der Auswertung der empirischen Daten der ITAS-Fokusgruppe zu „Modernes Regieren bei der nuklearen Entsorgung“ (2016).
- *ITAS-D / Kooperation ITAS und FU Berlin*: Analyse der empirischen Daten für die Fallstudie zu Schweden im Rahmen einer ENTRIA-Promotion im ITAS-Team (N. Wulf). Vortrag: "Die nukleare Endlagerung in Schweden: Akteure und ihre Positionierungen unter Bezugnahme auf Nichtwissen", Doktoranden-Kolloquium von Prof. Ulrich Bröckling am Kulturwissenschaftlichen Kolleg Konstanz (März 2017). Erscheinen der Dissertation „Effekte mikro-deliberativer Ereignisse in der Endlagerpolitik“ bei Springer VS (Kuppler 2017). Überarbeitung der Factsheets Schweden und Schweiz für die ENTRIA-Weltkarte (<http://www.ibmb.tu-braunschweig.de/entria-weltkarte/>).
- *ITAS-E / Gemeinschaftsaufgaben und akademische Selbstorganisation*: Sprechertätigkeit P. Hocke (Vertreter der NTH-externen Projektpartner). Organisation und Durchführung des ENTRIA-Beiratstreffens in Karlsruhe (13./14.3.2017). Ko-Autor beim „Bericht zur Evaluierung des Forschungsvorhabens ENTRIA 2017“, Mitarbeit beim Programmkomitee der fünftägigen ENTRIA-Abschlusskonferenz. Verfassen einer Broschüre zu Erfahrungen in der interdisziplinären Zusammenarbeit aus Sicht der ENTRIA-Bearbeiter (Hg.: Kuppler, Plischke, Pohlers, Pönitz, Tzschentke).
- *Modul ITAS-F / Explorative TA-Mikrostudie*: Abgeschlossen.
- *Modul ITAS-G / Ausbildung*: Vorlesung zu „Governance, Staatlichkeit und Gegenwartsanalyse angesichts der aktuellen Endlagerpolitik“ beim ENTRIA-Partner IRS Hannover (P. Hocke, Jan. 2017).

#### **4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- ITAS-A: Veröffentlichung der Studie zum Stand der Partizipationsforschung sowie weitere Veröffentlichungen zu Zwischenergebnissen aus ITAS-Analysen.
- ITAS-B: Veröffentlichung des Sammelbandes „Technisches Monitoring und Long-term Governance“ (Nomos-Verlag).
- ITAS-C: Veröffentlichung der Ergebnisse der Fokusgruppen zu „Modernes Regieren in der nuklearen Entsorgung“.
- ITAS-D: Fortsetzung der Schweden-Studie.
- ITAS-E: Erstellen des ENTRIA-Abschlussberichtes.

## 5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

## 6. Berichte und Veröffentlichungen

- Drögemüller, Cord; Kuppler, Sophie (2017): Bürger(innen) auf Standortsuche. Erwartungen in Deutschland, Erfahrungen aus der Schweiz. In: GAIA (Hg.): Schwerpunkt "Jahrhundertprojekt Endlagerung". GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society 26/2, S. 121-124.
- Hocke, Peter; Smeddinck, Ulrich (2017): Robust-parlamentarisch oder informell-partizipativ? Die Tücken der Entscheidungsfindung in komplexen Verfahren. In: GAIA (Hg.): Schwerpunkt "Jahrhundertprojekt Endlagerung". GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society 26/2, S. 125-128.
- Kuppler, Sophie (2017): Effekte mikro-deliberativer Ereignisse in der Endlagerpolitik. Deutschland und die Schweiz im Vergleich von 2001 bis 2010, Wiesbaden, Springer VS.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9082E
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - Institut für Nukleare Entsorgung	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Bildung einer Forschungsplattform Entsorgungsoptionen für radioaktive Reststoffe: Interdisziplinäre Analysen und Entwicklung von Bewertungsgrundlagen (ENTRIA)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> von 01.06.2013 bis 31.12.2017	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 981.130,82 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr. Horst Geckeis	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> horst.geckeis@kit.edu

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Eine radiologische Belastung von Natur und Mensch als Folge einer Endlagerung oder Langzeitzwischenlagerung hochradioaktiver Reststoffe bedingt die Freisetzung von Radionukliden aus dem entsprechenden Lager. Eine Grundvoraussetzung für die radiologische Bewertung einer Entsorgungsoption sind Radionuklidquellterme unter Annahme eines Wasserzutritts zum Reststoff. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass eine Langzeitzwischenlagerung bzw. eine Rückholung von radioaktiven Reststoffen aus einem geologischen Tiefenlager zu einer erhöhten Dosisbelastung der Beschäftigten beitragen kann. Im Rahmen des Vorhabens werden zum einen Quellterme für stilisierte Entwicklungen geologischer Tiefenlager in Steinsalz, Ton / Tonstein und kristallinen Wirtsgestein mit denjenigen möglicher oberflächennaher bzw. auf der Erdoberfläche gelegener Langzeitzwischenlager verglichen, und zum anderen Verfahren für die individuelle Dosimetrie für Beschäftigte in Entsorgungsanlagen entwickelt.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Im Arbeitspaket 4.4 „Radionuklidquellterme für verschiedene Entsorgungsoptionen“ werden geochemische Randbedingungen für die zu untersuchenden Entsorgungsoptionen abgeschätzt und darauf aufbauend Radionuklid-Quellterme abgeleitet. Unter Verwendung geochemischer Programmcodes werden Modelle entwickelt, die eine Radionuklidmigration in den unterschiedlichen Lagerkonzepten beschreiben können. Experimentelle Arbeiten zur Überprüfung der geochemischen Rechnungen sowie zur Validierung bzw. Verbesserung der vorhandenen thermodynamischen Datenlage sind ein wichtiger Teil des Arbeitspakets.

Das Arbeitspaket 4.5 „Individuelle Dosimetrie für Beschäftigte in Entsorgungsanlagen“ beinhaltet Untersuchungen zur Langzeitzwischenlagerung sowie zur Rückholung aus einem geologischen Tiefenlager. Die derzeit übliche Abschätzung der Dosisbelastungen beruflich strahlenexponierter Personen beruht auf der Anwendung herkömmlicher Dosimetriemethoden und gemittelten Messdaten. Die Modellierung von Strahlenfeldern in Lagern für hochradioaktive Reststoffe, die Entwicklung angepasster Dosimetriestrategien, die Beschreibung von Beschäftigungsabläufen mit Hilfe von Ablaufsimulationen und MCNP Modellierungen erlauben die Abschätzung von Strahlenexpositionen für bestimmte Tätigkeitsabläufe und damit der individuellen Dosisbelastung.

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

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

#### AP 4.4: Status:

Primäre Radionuklidquellterme wurden für Tiefenlager ohne Rückholbarkeitsoption abgeleitet und miteinander verglichen. Hierbei wurden Löslichkeiten von Americium, Plutonium und Uran in verschlossenen Einlagerungsstrecken (d.h. bei reduzierenden Bedingungen) für Formationswässer generischer Tiefenlager in einem süddeutschen Tonstein, einem norddeutschen Tonstein und einer norddeutschen Salinarformation quantifiziert. Im Fall der Americium- und Plutonium-Quellterme zeigen sich signifikante Unterschiede für die verschiedenen Wirtsgesteine, während der Uran-Quellterm nur geringfügig variiert.

J. Schepperle verließ im Mai 2017 und trat eine neue Arbeitsstelle an. Seine Dissertation ist weit fortgeschritten und soll Ende dieses Jahres abgeschlossen werden.

#### AP 4.5: Status:

Der Vergleich von Messergebnissen und numerischen Simulationen zu Experimenten mit einem Abschirmbehälter -Modellsystem am Neutronengenerator der TU Dresden wurden erfolgreich abgeschlossen. Hierzu wurde im Juni 2017 ein Manuskript bei der Fachzeitschrift Journal of Nuclear Materials zu Veröffentlichung eingereicht. Beim 48th Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT) wurde der Beitrag von H. Saurí Suárez mit dem „Best Paper Award“ ausgezeichnet. Die Dissertation von H. Saurí Suárez ist nahezu abgeschlossen und soll im August 2017 eingereicht werden. B. Pang beendete im Februar 2017 erfolgreich seine Mitarbeit im AP 4.5 und wechselte anschließend an die Shenzhen University, wo er mittlerweile als Assistenzprofessor arbeitet.

### **4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)**

#### AP 4.4:

Transportrechnungen für ein Endlagersystem in Tonstein und Steinsalz für Actinide (mit und ohne Rückholbarkeitsoption) sollen abgeschlossen werden. Im zweiten Halbjahr 2017 sollen die Ergebnisse des AP 4.4 in der ENTRIA-Abschlusskonferenz vorgestellt und der AP 4.4-Beitrag zum ENTRIA-Abschlussbericht geschrieben werden. In dieser Zeit ist die Verteidigung von J. Schepperles Dissertation geplant.

#### AP 4.5:

Messergebnisse von Bestrahlungsexperimenten mit verschiedenen Stahlbetonarten sollen mit Simulationen verglichen werden. Im zweiten Halbjahr 2017 sollen die Ergebnisse des AP 4.5 in der ENTRIA-Abschlusskonferenz vorgestellt und der AP 4.5-Beitrag zum ENTRIA-Abschlussbericht geschrieben werden. In dieser Zeit ist die Verteidigung von H. Saurí Suárez Dissertation geplant.

### **5. Bezug zu anderen Vorhaben**

J. Schepperle (AP 4.4) und F. Becker (AP 4.5) beteiligten sich mit Beiträgen am ENTRIA Bearbeitertreffen in Hannover im März 2017. V. Metz koordinierte zusammen mit A. Eckhardt (risicare) die Erstellung des Kapitels zum Transversalprojekt „Interdisziplinäre

Risikoforschung“ des „Berichts zur Evaluierung des Forschungsvorhabens ENTRIA“ (März 2017).

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Veröffentlichung:

Saurí Suárez, H., Pang, B., Becker, F., Metz, V. (2017) Monte-Carlo based comparison of the personal dose for emplacement scenarios of spent nuclear fuel casks in generic deep geological repositories. ATW Atomwirtschaft-Atomtechnik, International Journal for Nuclear Power 62, 384-390

Vortrag:

Saurí Suárez, H., Pang, B., Becker, B., Metz, V., Monte-Carlo based comparison of the personal dose for emplacement scenarios of spent nuclear fuel canisters in generic rock salt and claystone repositories. In: Deutsches-Atomforum (Ed.), Jahrestagung Kerntechnik - Annual Meeting on Nuclear Technology. Berlin, Mai 2017.

Poster:

Fellhauer, D., Montoya, V., Schepperle, J., Gaona, X., Metz, V., Altmaier, M., Geckeis, H., Radionuclide source term estimations for generic nuclear waste repositories within the ENTRIA project, Actinide and Brine Chemistry in a Salt Repository(V) – ABC Salt V, Ruidoso, New Mexico, USA, März 2017

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2017 bis 30.06.2017	<b>Förderkennzeichen:</b> 15SWM2013
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Helmholtz-Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Postfach 1129, 85758 Oberschleißheim	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Wissensmanagement von Altdokumenten aus Forschung, Verwaltung und Betrieb	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.06.2013 bis 31.05.2018	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 7.169.856,-- €
<b>Projektleiter/-in:</b> Dr. Detlev Eck	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> eck@iwwgoslar.de

### 1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Frage nach „Stand von Wissenschaft und Technik“ als Grundlage sämtlicher Entscheidungen für Perspektiven und Entwicklungen in unserer Gesellschaft, insbesondere politisch motivierter Entscheidungen, setzt voraus, dass diese Wissensstände bekannt sind. Hierzu ist es erforderlich, dass man die zugehörigen Forschungsarbeiten mit ihren verschiedensten Inhalten kennt und auf deren Ergebnissen aufbaut.

Da Forschung seit vielen Jahrzehnten betrieben wird, haben sich im Laufe der Jahre sehr viele Wissenschaftler mit ihren Fachthemen befasst und die Ergebnisse veröffentlicht. Durch die Vielzahl ist jedoch eine inhaltliche Analyse auf manuellem Wege nur unzureichend durchführbar. Als effektivste Lösung bietet sich die computerunterstützte Analyse an. Da diese für wissenschaftliche Disziplinen bisher zumeist auf Grundlage von Schlagwortverzeichnissen und händisch eingetragenen Analysen stattfindet, soll mit dieser Arbeit unter Zuhilfenahme der digitalen Analyse ein neuer Weg beschritten werden.

### 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Ziel ist es, unter Zuhilfenahme einer Software digitalisierte größere Altaktenbestände zu analysieren. Als Datengrundlage dienen die Altakten des 21. Parlamentarischen Untersuchungsausschusses des Niedersächsischen Landtages, die im Rahmen des Projektes digitalisiert wurden.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil besteht darin, noch existierende wissenschaftliche Arbeiten und Gutachten bezüglich der Schachanlage Asse II zusammenzutragen und digital zur Verfügung zu stellen. Im Rahmen des Projekts sollen diese analysiert werden, wobei sowohl Zeitplan als auch Kosten über den Umfang entscheiden.

### 3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

#### a. Arbeitsschritt 1 - Vorbereitende Maßnahmen

Im März 2017 wurde seitens Universität Leipzig die Entwicklung der OCR-Nachkorrektur abgeschlossen und ein Abschlussbericht vorgelegt. Das Modul wurde in die Anwendung

implementiert, die digitalisierten Daten wurden neu prozessiert und über das Textanalysetool zur weiteren Auswertung zur Verfügung gestellt.

Zusammenfassend für:

- b. Arbeitsschritt 2 - Erste Stufe der Bearbeitung der Dokumente
- c. Arbeitsschritt 3 - Erste Analyse von Texten und Entwicklung eines Textanalyseystems
- 3.4 Arbeitsschritt 4 - Einführung des Textanalyseystems und weitere Auswertung der Dokumente

Die Recherche nach Gutachten, Berichten und wissenschaftlichen Arbeiten, die durch das frühere IfT (heute GRS Abt. Tieflagerung) bzw. für die Schachanlage Asse II durch Dritte erstellt wurden, ergibt aktuell eine Anzahl von ca. 1.300 Dokumenten. Bisher konnten ca. 900 Unterlagen beschafft und digital archiviert werden. Die Beschaffung älterer Unterlagen gestaltet sich nach wie vor schwierig, da die Verfügbarkeit nicht durchgängig gegeben ist. Hinsichtlich der Beschaffung weiterer Unterlagen besteht Kontakt mit BfS, LBEG, GRS, Asse-GmbH, Bibliotheken und weiteren Einrichtungen. Inzwischen ist der Bestand der Unterlagen durch das Zusammenführen in einem zentralen Archiv bei diesem Projekt wesentlich umfangreicher als in den Archiven der genannten wissenschaftlichen Einrichtungen. Vorgesehen ist, dass zukünftig diese Literatursammlung öffentlich finanzierter Projekte allen mit der Thematik befassten Behörden sowie wissenschaftlichen Einrichtungen digital zur Verfügung zu stellen. Damit steht erstmalig der gesamte Wissensstand aus der Zeit vor 2009 digital zur Verfügung.

Wie vorgesehen wurden in einem ersten Schritt einige Gutachten exemplarisch manuell ausgewertet, um diese anschließend mit den Ergebnissen der vorläufigen softwaregestützten Analyse zu vergleichen.

Die Entwicklung der Basisversion Briefkopf-Klassifikation und der Dokumenten-Klassifikation durch die Universität Leipzig sind abgeschlossen. Hierzu ist anzumerken, dass der Erkennungsgrad maßgeblich von der Qualität der Dokumente abhängt. So ist es nachvollziehbar, dass Texte von Dokumenten, die auch durch den Menschen nicht mehr erkannt werden, ebenfalls nicht durch die Texterkennung lesbar sind.

#### **4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)**

- a. Arbeitsschritt 1 - Vorbereitende Maßnahmen

Die Entwicklung der OCR-Nachkorrektur ist für dieses Projekt abgeschlossen. Erkenntnisse aus der aktuellen Forschungsarbeit zeigen, dass im Rahmen einer fortführenden Entwicklung diese in der Sprachanalyse wichtigen Bestandteile weiter wissenschaftlich erforscht werden können. Dieses betrifft z. B. neuronale Netze, out-of-dictionary-Terms und die Whole-word-morphology.

Zusammenfassend für:

- b. Arbeitsschritt 2 - Erste Stufe der Bearbeitung der Dokumente
- c. Arbeitsschritt 3 - Erste Analyse von Texten und Entwicklung eines Textanalyseystems
- d. Arbeitsschritt 4 - Einführung des Textanalyseystems und weitere Auswertung der Dokumente

Die derzeit noch fehlenden Gutachten, Berichte und wissenschaftlichen Arbeiten werden im Rahmen der Möglichkeiten beschafft, um eine komplette Literatursammlung bezüglich der Forschung, die durch Dritte für die Schachanlage Asse II bzw. durch das Institut für Tief Lagerung (IfT) durchgeführt wurde, zu erstellen. Im Rahmen der Literaturbeschaffung findet eine enge erfolgreiche Zusammenarbeit mit verschiedenen Einrichtungen statt. Zu nennen sind hier beispielhaft BfS, GRS, LBEG, Asse-GmbH, Universitätsbibliotheken und Landesarchive. Weitere wissenschaftlich arbeitende Einrichtungen werden aktuell und zukünftig zur Erweiterung der Datenbestände eingebunden.

Bezüglich der Entwicklung der Briefkopf-Klassifikation und der Dokumenten-Klassifikation gibt es ebenfalls Erkenntnisse aus der aktuellen Forschungsarbeit, die für eine fortführende Entwicklung von Interesse wären. Diese für die Metadaten-Extraktion wichtigen Bestandteile könnten weiter wissenschaftlich erforscht werden. Dieses betrifft beispielsweise neuronale Netze sowie die Verknüpfung von Bild- und Textfeatures.

e. Arbeitsschritt 5 - Einführung des betriebsreifen Textanalyzesystems und weitere Auswertung der Dokumente

Die Auswertung der mit der finalen OCR-Nachkorrektur neu prozessierten Dokumente mit dem Textanalyzesystem wird seit Mai 2017 getestet.

Aus der Kooperation mit der Universität Leipzig und der CID GmbH sowie den ersten Erfahrungen aus der Anwendung des Textanalyzesystems für Altdokumente aus Forschung, Verwaltung und Betrieb hat der Softwarehersteller die Erkenntnis gewonnen, dass für solche Aufgabenstellungen Softwarekomponenten weiterzuentwickeln sind, da hier ein großer Bedarf auf dem Markt vorhanden ist. Mit der Konzeption und Programmierung einer solchen Komponente hat die Entwicklungsabteilung der Firma CID begonnen. Ein erster Prototyp befindet sich nach einer Testphase in der Überarbeitung und soll voraussichtlich Ende 2018 zur Verfügung stehen.

4.6 Projektfortschritt Arbeitsschritt 6 - Publikation der Ergebnisse und Übertragung des Analyseverfahrens auf andere Disziplinen

Die Analyse der früheren Arbeiten gliedert sich in die durchgeführten wissenschaftlichen Versuche und die Literaturquellen in Form von Gutachten, Berichten und wissenschaftlichen Ausarbeitungen, die heute noch vorhanden sind.

Die wissenschaftlichen Versuche werden inhaltlich beschrieben und deren Ergebnisse dargelegt.

Für die vorliegenden Gutachten, Berichte und wissenschaftlichen Arbeiten werden Zusammenfassungen erstellt und öffentlich verfügbar gemacht.

Im weiteren Verlauf des Projekts werden Wege aufgezeigt, wie mit Hilfe vertiefter linguistischer Textanalysen Inhalte von Gutachten, Berichten und wissenschaftlichen Arbeiten in ihrer Aussagekraft differenzierter analysiert werden können. Durch eine Vielzahl von engen Zusammenarbeiten mit Politik, Verwaltung und Industrie werden Möglichkeiten aufgezeigt wo die gemachten Erfahrungen und Erkenntnisse auf andere Fachdisziplinen übertragbar sind.



## 5. Bezug zu anderen Vorhaben

Nach Neugründung des Bundesamtes für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE) wurden Gespräche mit der Amtsleitung geführt, die Interesse an der derzeit durchgeführten Forschungsarbeit bekundet hat, da eine wesentliche Aufgabe des Amtes darin besteht, den Stand von Wissenschaft und Technik in der Endlagerforschung darzulegen, wozu dieses Projekt einen maßgeblichen Beitrag leistet.

## 6. Berichte und Veröffentlichungen

Die von der Universität Leipzig vorgelegten Abschlussberichte

- OCR-Nachkorrektur im Projekt „Wissensmanagement von Altdokumenten aus Forschung, Verwaltung und Betrieb“, 27. März 2017
  - Dokumenten-Zusammenführung und Dokumenten-Klassifikation, 04. April 2017
- werden mit dem Abschlussbericht zum Projekt „Wissensmanagement von Altdokumenten aus Forschung, Verwaltung und Betrieb“ veröffentlicht.

Des Weiteren sind an der Universität Leipzig folgende Arbeiten und Promotionen erarbeitet worden:

Bachelorarbeiten [abgeschlossen]

- Noack, Robert (2015): Entwicklung eines hierarchischen Kategoriensystems und eines annotierten Trainingskorpus für die überwachte Klassifikation von Briefkopfelementen in Altkorrespondenz mit exemplarischen Klassifikationsergebnissen, Universität Leipzig.
- Otto, Wolfgang (2014): Untersuchung hierarchischer Topicmodelle in der Fachdomäne Endlagerung unter Berücksichtigung ihres Potentials für Ontology-Learning, Universität Leipzig.

Masterarbeiten [abgeschlossen]

- Otto, Wolfgang (2016): Identifikation von Korrespondenzen in einem Korpus aus Altdokumenten der Fachdomäne Endlagerung, Universität Leipzig.

Masterarbeiten [in Erstellung]

- Noack, Robert (2017): Metadatenextraktion aus retrodigitalisierten Altakten, Einreichung geplant bis 09/2017.
- Preßler, Benedict (2017): Überwachtes maschinelles Lernen zur Rekonstruktion und Klassifizierung von Archiv-Dokumenten auf einem Korpus digitalisierter Einzelseiten, Einreichung geplant bis 08/2017.

Promotion [in Erstellung]

- „Anwendungen der Levenshtein-Distanz auf Basis von LevenshteinUltra“, Laube, Sören

Sonstige Forschungsarbeiten:

- Isemann, Daniel; Niekler, Andreas; Preßler, Benedict; Viereck, Frank; Heyer, Gerhard (2014): OCR of Legacy Documents as a Building Block in Industrial Disaster Prevention, In: DIMPLE Workshop on Disaster Management and Principled Large-scale Information Extraction for and post emergency logistiocs, LREC 2014.
- Preßler, Benedict; Viereck, Frank (2014), Analyse von Briefköpfen – Clustering mit dem rapidminer, Working Paper I Projekt “ASSE”, Mai 2014, Universität Leipzig.
- Preßler, Benedict (2014): Klassifikation von Briefkopfelementen. Working Paper II Projekt “ASSE”, August 2014, Universität Leipzig.

Weitere Literatur:

- „Beratung und Wissensmanagement bei der Entsorgung radioaktiver Stoffe“; Driftmann und Josipovic, Braunschweigische Rechtswissenschaftliche Studien, 2015, hier:  
„Wissensmanagement bei der Entsorgung radioaktiver Reststoffe – Das Archiv als Informationsquelle am Beispiel der Schachtanlage Asse II“; Driftmann, Christian

**Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS) gGmbH**

Schwertnergasse 1  
**50667 Köln**  
Telefon +49 221 2068-0  
Telefax +49 221 2068-888

Forschungszentrum  
**85748 Garching b. München**  
Telefon +49 89 32004-0  
Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200  
**10719 Berlin**  
Telefon +49 30 88589-0  
Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4  
**38122 Braunschweig**  
Telefon +49 531 8012-0  
Telefax +49 531 8012-200

[www.grs.de](http://www.grs.de)