

## **Fortschrittsbericht**

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

Berichtszeitraum  
01. Januar - 30. Juni 2018

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung**



Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS) gGmbH

## Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum  
1. Januar - 30. Juni 2018

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 (<http://www.ptka.kit.edu/ptka-alt/wte/287.php>) 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.



<b>Förderkennzeichen</b>	<b>Themenbereich</b>	<b>Seite</b>
<b>01.</b>	<b>Zerlegeverfahren</b>	
15S9286	Kontakterosives Abrichten mehrschichtiger Seilschleifwerkzeuge für die Stahlbeton- und Stahlbearbeitung (KESS)	7
15S9402A	Verbundprojekt: Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser – Teilprojekt: Grundlagenprozesse und Prozessentwicklung	10
15S9402B	Verbundprojekt: Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser - Teilprojekt: Entwicklung einer Prozesssteuerung für Hybrid-Trennverfahren unter Wasser	14
15S9404	Innovatives Seilschleifkonzept für die Bearbeitung von Stahl	16
<b>02.</b>	<b>Dekontaminationsverfahren und Gebäudefreigabe</b>	
15S9215A	Verbundprojekt: Laser-Dekontamination von Metall- und Betonoberflächen (LaPLUS)	19
15S9215B	Verbundprojekt: Laser-Dekontamination von Metall- und Betonoberflächen (LaPLUS)	22
15S9215C	Verbundprojekt: Laser-Dekontamination von Metall- und Betonoberflächen (LaPLUS)	25
15S9403A	Verbundprojekt: Automatisierte Dekontaminationskabine für den Einsatz beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Dokumentation 4.0	27
15S9403B	Verbundprojekt: Automatisierte Dekontaminationskabine für den Einsatz beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Entwicklung eines Verfahrens zur automatischen Programmierung v. Roboterbahnen aus Punktwolken u. seine Verifizierung an einem Robotersystem im Labormaßstab	31
15S9403C	Verbundprojekt: Automatisierte Dekontaminationskabine für den Einsatz beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Entwicklung und Konstruktion einer vollautomatisierten Dekontaminationskabine mittels Hochdruckwasserstrahlen	34

<b>03.</b>	<b>Abfallbehandlung, Abfalldeklaration, Zwischenlagerung</b>	
15S9225A	Magnet-Separation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (MASK)	37
15S9225B	Magnet-Separation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (MASK)	40
15S9245	Identifizierung und Quantifizierung von Beta-Strahlern zur zerstörungsfreien Charakterisierung radioaktiver Abfallgebinde (IQ-Beta)	43
15S9266A	Verbundprojekt: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS)	46
15S9266B	Verbundprojekt: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS)	49
15S9400	Automatisierte, rechnergestützte Verpackungsplanung zur Reduzierung der Massen und Volumina der Abfallgebinde für das Endlager Konrad	52
<b>04.</b>	<b>Umwelt- und Strahlenschutz</b>	
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)	64
15S9276D	Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	67
<b>05.</b>	<b>Mensch und Organisation</b>	
15S9401A	Verbundvorhaben: Sicherer und kosteneffektiver Rückbau (SIKOR) - Teilvorhaben: Planung und Durchführung zuverlässiger Personalhandlungen	70
15S9401B	Verbundvorhaben: Sicherer und kosteneffektiver Rückbau (SIKOR) - Teilvorhaben: Technische Risikoaspekte	73
<b>06.</b>	<b>Querschnittsaufgaben und Sonstiges</b>	
15SWM2013	Wissensmanagement von Altdokumenten aus Forschung, Verwaltung, Betrieb	75

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9286
<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 Selbstschärfeffekts 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 geschärfte 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 Abrichterergebnis 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

AP5: Mehrschichtig gelötete Seilschleifwerkzeuge von der Fa. Dr. Schulze GmbH wurden kontaktersiv abgerichtet. Diese Schleifperlen weisen wesentlich höhere Kornhaltekräfte und einen erhöhten Widerstand gegen abrasiven Verschleiß auf als die bisher eingesetzten gesinterten Werkzeuge. Im Querschliff auf Bild 1 oben sind die einzelnen Kornlagen zu sehen. Der Lötprozess hat die Anbringung von maximal 2 Lagen Körnern ermöglicht, weil das Auflöten weiterer Lagen ein Verlaufen der gesamten Perlenbindung zur Folge hatte. In den Einsatz- und Schärfversuchen ist die Abrichtbarkeit der Perlen nachgewiesen worden und die Kornüberstände konnten in ausreichendem Maße bis zur erneuten Schnittfähigkeit erhöht werden. Die Rücksetzgeschwindigkeit der Bindung ist dabei ausreichend hoch, um den im Prozess auftretenden Verschleiß kompensieren zu können. In Bild 1 unten sind REM-Aufnahmen der gelöteten Perlen im neuen, verschlissenen und konditionierten Zustand dargestellt.

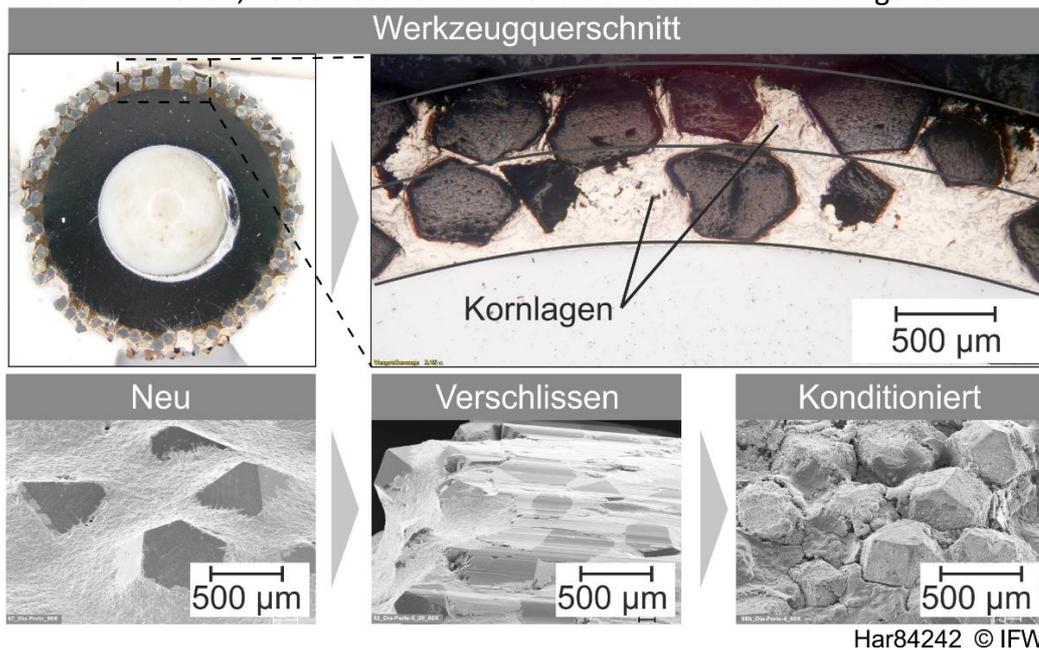


Bild 1: Mehrschichtig gelötete Schleifperlen

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

AP5: In Zusammenarbeit mit einem weiteren Hersteller wird die Herstellung von gelöteten Schleifperlen mit mehr als 2 Kornlagen erprobt. Durch eine kontinuierliche Drehbewegung der waagrecht im Vakuumofen angeordneten Perlen soll ein Verlaufen der Bindung verhindert werden. Im Anschluss werden diese Perlen sowohl einzeln als auch auf einem Seilschleifwerkzeug eingesetzt und abgerichtet.

### 5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

B. Denkena; T. Grove; J. Harmes, C. Heller: Seilschleifen mit vakuumgelöteten Schleifsegmenten; Diamond Business; Ausgabe 2/2018 (Vakuumlöten), S. 10-17

B. Denkena; T. Grove; J. Harmes: Kontaktersives Schärfen von Seilschleifwerkzeugen, DIHW; Ausgabe 2/2018, S. 34-38

Eine Veröffentlichung ist im Rahmen der ISAAT 2018 in Toronto inklusive Vortrag geplant. Zusätzlich wird eine Veröffentlichung im „Der Betonbohrer“ für 2018 anvisiert.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9402A
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Leibniz Universität Hannover – Institut für Werkstoffkunde	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser (HugeCut)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2017 bis 31.10.2020	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 822.136,80 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Dr.-Ing. Thomas Hassel	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> hassel@iw.uni-hannover.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen stellt vor allem das automatisierte Trennen dickwandiger Bauteile unter Wasser eine technische Herausforderung dar. Nur wenige Verfahren sind in der Lage solche Bauteile robust und sicher zu zerlegen. Mechanische Schneidverfahren sind nur in Form von Sondermaschinen erhältlich und weisen große Nachteile bei den auftretenden Rückstellkräften auf. Da die Bauteile häufig in Einbaulage zerlegt werden müssen, können nur selten ausreichend steife und tragfähige Manipulatoren eingesetzt werden, wie sie beim Einsatz mechanischer Verfahren notwendig sind. Thermische Schneidverfahren bieten diesbezüglich verfahrenstechnische Vorteile. Von den thermischen Verfahren eignen sich vor allem das Plasmaschneiden sowie das autogene Brennschneiden für das Trennen dickwandiger Komponenten. Auf Grund der hohen radiologischen Belastung insbesondere von Bauteilen im Umfeld des Reaktordruckbehälters müssen diese Komponenten zur Erzielung einer ausreichenden Abschirmung unter einer Wasserabdeckung von mehreren Metern Höhe zerlegt werden. Im Rahmen des Projektes wird hierfür ein hybrider Schneidbrenner entwickelt welcher die prozessichere Zerlegung dieser Komponenten unter den gegebenen Randbedingungen ermöglichen soll.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Aufbauend auf der Literaturrecherche zu den bisherigen Anwendungen der Anwendung von thermischen Schneidverfahren im Rückbau sowie weiterführender Literaturrecherche und theoretischer Betrachtungen erfolgt die Auswahl potentiell geeigneter Vorwärmverfahren für den hybriden Brennschneidprozess. Im Rahmen praktischer Untersuchungen sowie unter der Zuhilfenahme von Simulation und Modellbildung erfolgt im Anschluss die Validierung der Wärmequellenauswahl. Aufbauend auf diesen grundlegenden Untersuchungen wird parallel zur Ausarbeitung des Lastenheftes für die fernhantierte thermische Zerlegung die Entwicklung der Prüfstände für die praktischen Untersuchungen vorangetrieben. Aufbauend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen erfolgt die Verfahrensauswahl der für den Versuchsbrenner geeigneten Vorwärmverfahren.

Unter Berücksichtigung der bereits ermittelten Ergebnisse erfolgt die Erstellung des Pflichtenheftes für das Trennverfahren. Es schließt sich die Durchführung und Auswertung weiterer Versuche mit den ausgewählten Wärmequellen unter Berücksichtigung der Aspekte des

Verfahrens-Pflichtenheftes an. Auf der Grundlage der in diesen Versuchen ermittelten Parameter der Wärmequellen erfolgt in enger Abstimmung mit dem Projektpartner NUKEM die Erstellung des Lasten- und Pflichtenheft für den Demonstrator und hieran anschließend die Entwicklung und Bau des Demonstrators. Zum Abschluss des Projektes erfolgt die Qualifizierung des Demonstrators sowie eine Quantifizierung der erzielbaren Schneidleistungen.

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

- Für die Untersuchung der unterschiedlichen Wärmequellen (AP 4) zur Vorwärmung wurde am IW das in Abbildung 1 dargestellte Messgerät entwickelt und gebaut. Dies war erforderlich, da die am Markt erhältlichen Geräte für die Messungen mit Thermoelementen (Typ K) keine ausreichende Kanalanzahl und eine zu geringe Abtastrate besitzen. Eine hohe Kanalanzahl ist im späteren Untersuchungsverlauf notwendig um die Vorwärmung und den Schnittprozess auch bei bewegtem Brenner aufzeichnen zu können. Die für am Markt befindliche mehrkanalige Temperaturmesstechnik gängige Abtastrate von <1 Hz ist für die hochdynamischen, mit hohen Prozessenergien ablaufenden, Vorgänge bei autogenen Trennverfahren ebenfalls nicht geeignet. Es wurde daher ein Messgerät zur Erfassung der Temperaturentwicklung mit bis zu 96 Thermoelementen (TE) bei einer Abtastrate von bis zu 250 Hz entwickelt und gebaut. Die Qualifizierung der entwickelten Messtechnik erfolgte anhand von Referenzmessungen.



Abbildung 1: Am IW entwickeltes Temperaturmesssystem TEMS 12X8

- Als Wärmequellen zur Vorwärmung unter Wasser wurden bisher die Propanheizflamme und die Mittelfrequenzinduktion untersucht (AP 4). Die sich in dem Probenkörper bei feststehendem Brenner und unterschiedlichen eingebrachten Wärmeleistungen einstellende Temperaturentwicklung wurde über Thermoelemente (TE) erfasst und mit den vorher erstellten, numerischen Berechnungsmodellen verglichen. Zum Einsatz kam hierbei ein 50 mm starker Probenkörper, welcher in einer Tiefe von 7 – 16 mm und in einem Abstand von 0 – 16 mm vom Mittelpunkt der Probe mit insgesamt acht Thermoelementen (TE) bestückt ist. Die Anordnung der Thermoelemente erfolgte dabei unter der Prämisse insbesondere die Wärmeeinbringung in die oberen 20 mm der Probe ermitteln zu können, da die Wärmeeinbringung beim Autogenen Brennschneiden in diesem Bereich noch weitestgehend von der Vorwärmung und nicht von der exothermen Verbrennung abhängig ist.

Als Grundlage der Betrachtungen wurde die Temperaturentwicklung bzw. Wärmeeinbringung der Propangas-Heizflamme mit einer Flammenleistung von ca. 12 kW erfasst. Nach einer Vorwärmzeit von 70 Sekunden wurde hier, wie in Abbildung 2 ersichtlich, eine Maximaltemperatur von knapp 350 °C an dem in einer Tiefe von 7 mm unter der Materialoberfläche positionierten TE 1 ermittelt, die tiefer bzw. weiter außerhalb des Bereiches der direkten Wechselwirkung zwischen Flamme und Probenkörper liegenden Thermoelemente erreichten, in Folge der Wärmeleitung im Bauteil, eine Temperatur von etwa 180 °C. Dem Verlauf der Kurven kann entnommen werden, dass eine weitere Verlängerung der Vorwärmzeit zu keiner signifikanten Steigerung der Temperaturen mehr

führen kann, und der Gleichgewichtszustand bereits nahezu erreicht ist. Aus dem Verhältnis der Kurven des direkt unter dem Brenner befindlichen TE 1 zu der des TE 4, welches in gleicher Höhe, jedoch 16 mm außerhalb der Brennermitte positioniert ist, kann die für einen (räumlich) nachfolgenden Autogenprozess nutzbare Vorwärmung abgeschätzt werden.

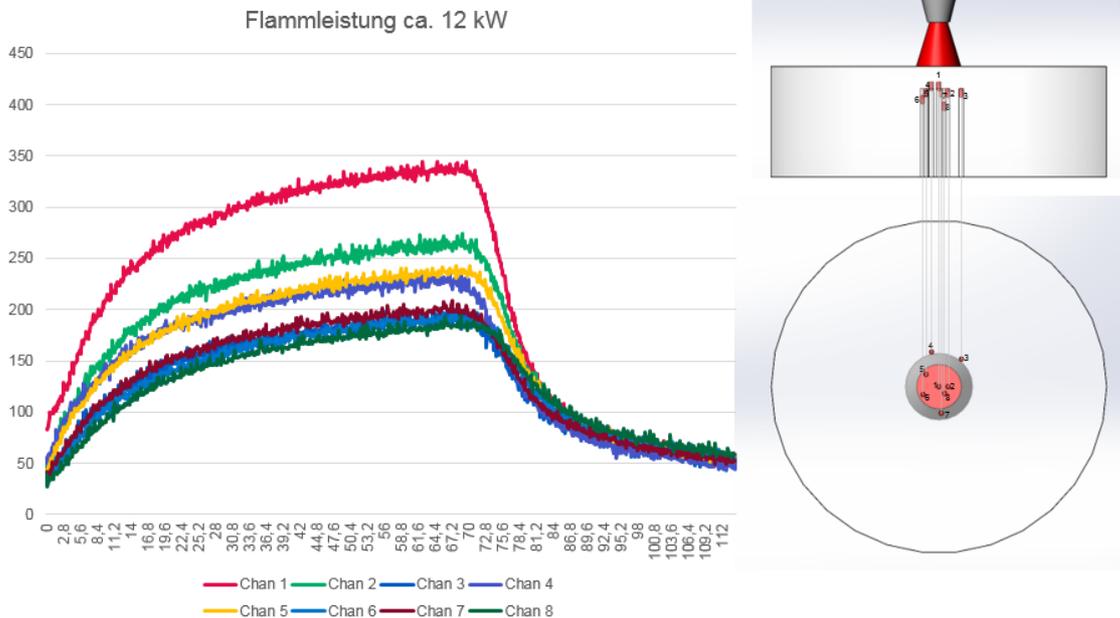


Abbildung 2: Position der Thermoelemente und ermittelte Temperaturverläufe bei Erwärmung mit der Propangasflamme

In der nachfolgenden Abbildung 3 sind die Temperaturverläufe bei der Vorwärmung mittels des MF-Induktors dargestellt. Die auf Grund des eingeschränkten Bauraumes verwendeten, ungeschirmten TE werden von den induzierten Wechselfeldern soweit gestört, dass während der Erwärmung keine valide Messung der Temperaturentwicklung möglich ist. Aus diesem Grund wurde für diese ersten Versuche der Induktor zyklisch mit einer höheren Leistung von 18 kW betrieben und durch das manuelle Ein- und Ausschalten des Induktors eine mittlere Einschaltdauer von etwa 66% erzeugt. Hierdurch ergab sich eine mit der Propanflamme vergleichbare mittlere Leistung von circa 12 kW.

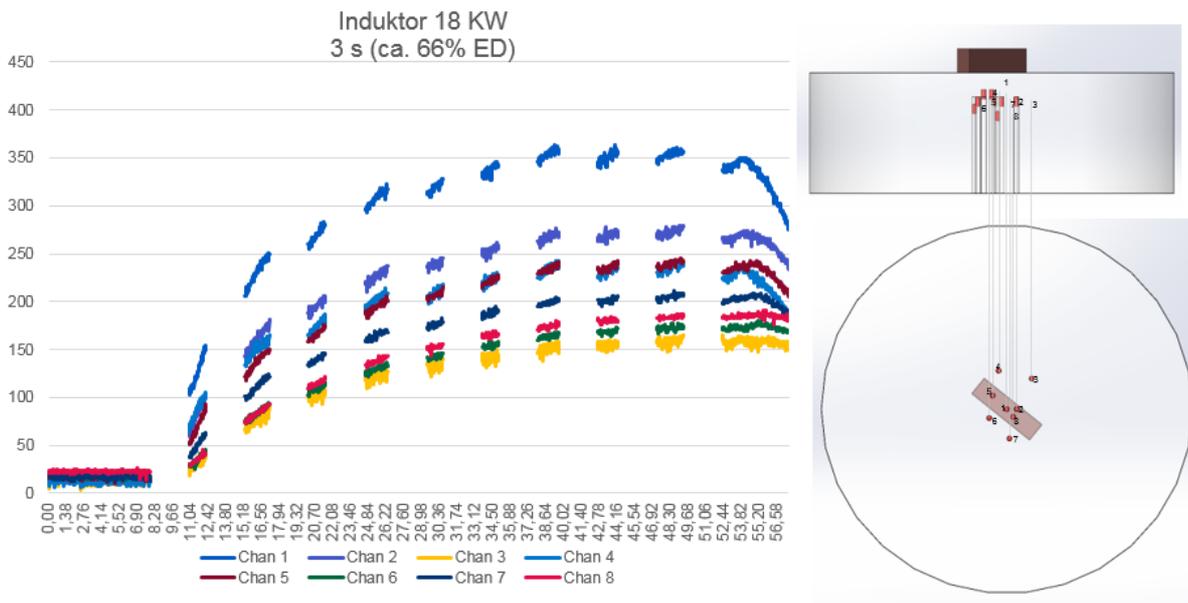


Abbildung 3.: *Position der Thermolemente und ermittelte Temperaturverläufe bei Erwärmung mit der MF-Induktion*

Aus der Erwärmung mittels MF-Induktion ergaben sich qualitativ sehr ähnliche Kurvenverläufe. Es ist allerdings zu erkennen, dass TE 1 bereits zwölf Sekunden nach dem Beginn der Erwärmung eine Temperatur von 300 °C erreicht, während dieser Wert bei der Erwärmung mit der Propanflamme erst nach über 30 Sekunden erreicht wird. Die in das Bauteil eingebrachte Leistung liegt somit augenscheinlich höher. Die Temperatureinbringung in die tiefer bzw. weiter außerhalb platzierten TE erfolgt auch hier zum überwiegenden Teil durch Wärmeleitung, so dass hier beide Vorwärmverfahren ähnliche Kurvenverläufe erzielen. Allerdings erfolgt die Erwärmung auch hier mittels MF-Induktion erheblich schneller.

Die Untersuchung des Plasmalichtbogens als Wärmequelle steht noch aus, da bei diesen Versuchen verfahrensbedingt der Probenkörper beschädigt wird. Die Ergebnisse dieser ersten Versuche bilden eine wichtige Grundlage für die weitere Methodenentwicklung und gehen in die Planung der nachfolgenden Versuche und die Auslegung des hybriden Schneidbrenners ein.

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

- Die Prüfstandentwicklung (AP 6) ist maßgeblich von den in AP 4 gewonnenen Ergebnissen abhängig und wird daher parallel zu abschließender Auswertung von AP 4 vorgenommen. Aus den im Material bei der initialen Vorwärmung auftretenden Temperaturverläufen ergeben sich direkte Auswirkungen auf die für die weiterführenden Versuche erforderlichen Proben- und Werkzeuggeometrien. Auch weitere Parameter der Prüfstandentwicklung wie beispielsweise die erforderlichen Schnittstellen zur Steuerung von Beschleunigung und Brennerbewegung werden maßgeblich von diesen Ergebnissen beeinflusst. Die Entwicklung des Prüfstandes und seiner Steuerung erfolgt daher als iterativer Prozess um die Ergebnisse des AP 4 einfließen lassen zu können.
- Bereits aus den statischen Versuchen mit dem MF-Induktor im Rahmen von AP 4 hat sich gezeigt, dass dieser auf Grund seiner linienförmigen Bauform ein räumlich stark von den punktförmigen Wärmequellen abweichendes Temperaturprofil aufweist. Um den Einfluss der Orientierung des Induktors im Rahmen der nachfolgenden Arbeiten berücksichtigen zu können, ist dieser noch weitergehend zu untersuchen.
- Für den Abschluss von AP 4 wird weiterhin noch ein Plasmabrenner als Vorwärmverfahren untersucht. Da bei diesem Verfahren eine Schädigung der Oberfläche des Probenkörpers verfahrensbedingt nicht ausgeschlossen werden kann, erfolgen diese Untersuchungen am Ende von AP 4. Somit kann sichergestellt werden, dass die in den Vorversuchen gewonnenen Ergebnisse durch die Nutzung eines gleichbleibenden Probenkörpers vergleichbar sind.

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

Es kann zurzeit kein Bezug zu anderen Vorhaben hergestellt werden.

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

Für den aktuellen Berichtszeitpunkt liegen keine Veröffentlichungen vor.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9402B
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> NUKEM Technologies Engineering Services GmbH	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser  Teilprojekt: Entwicklung einer Prozesssteuerung für Hybrid-Trennverfahren unter Wasser	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2017 bis 31.10.2020	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 98.856,11 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Klaus Büttner	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> Klaus.buettner@nukemtechnologies.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

In einer Kooperation des Instituts für Werkstoffkunde der Leibniz Universität Hannover (IW) und der NUKEM Technologies Engineering Services GmbH werden im Rahmen des Verbundprojektes "Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser" (HugeCut) Hybridverfahren zum thermischen Trennen unter Wasser qualifiziert.

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen stellt vor allem das automatisierte Trennen dickwandiger Bauteile unter Wasser eine technische Herausforderung dar. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung von leistungsfähigen Trennverfahren zum Schneiden von dickwandigen metallischen Komponenten unter Wasser. Von den thermischen Verfahren eignen sich vor allem das Plasmaschneiden sowie das autogene Brennschneiden für das Trennen dickwandiger Komponenten. Der Einsatz des autogenen Brennschneidens unter Wasser stellt durch die höheren Wärmeverluste und die damit verbundene Prozessinstabilität eine deutlich größere Herausforderung dar. Die Prozesssicherheit des autogenen Brennschneidens beim Trennen dickwandiger Bauteile unter Wasser kann durch die Steigerung der Leistung der für die Vorwärmung eingesetzten Wärmequelle oder den Einsatz einer zusätzlichen Wärmequelle optimiert werden.

Anhand von theoretischen Betrachtungen und praktischen Untersuchungen werden quantifizierbare Aussagen über die Prozessstabilität und den Einfluss der Prozessparameter ermittelt. Aufbauend auf den Erkenntnissen der Voruntersuchungen werden Schneidprozesse ausgewählt, welche die hohe Schneidtiefe des autogenen Brennschneidens mit der für die Fernhandhabung des Verfahrens erforderlichen hohen Prozesssicherheit verbinden. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in der Entwicklung eines Prototypen umgesetzt und eine Prozessüberwachung mit zugehöriger Prozessregelung entwickelt. Ziel ist die Umsetzung in einer Demonstratoranlage, die reproduzierbare Trennschnitte an Bauteilen mit Materialstärken zwischen 130mm und 500mm ermöglicht.

## **2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm**

- AP1: Literaturrecherche zur bisherigen Anwendung von thermischen Schneidverfahren im Rückbau
- AP2: Ableiten der realen Zerlegebedingungen / Zerlegeumfeld
- AP3: Betrachtung und Auswahl geeigneter Wärmequellen zur Vorwärmung anhand von Literaturrecherche und theoretischen Betrachtungen
- AP4: Praktische Untersuchungen und Simulation / Modellbildung zur Validierung der Wärmequellenauswahl
- AP5: Lastenheft fernhantierte thermische Zerlegung
- AP6: Prüfstandentwicklung für die praktischen Versuche
- AP7: Pflichtenheft für das zu entwickelnde Verfahren
- AP8: Durchführung und Auswertung der Versuche mit den ausgewählten Wärmequellen
- AP9: Prototypentwicklung und -bau
- AP10: Qualifizierung des Prototyps
- AP11: Dokumentation

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

Im Berichtszeitraum wurden die realen Zerlegebedingungen (Arbeitspaket 2) in Abstimmung mit der Universität Hannover definiert. Hierzu wurden insbesondere folgende Parameter diskutiert: Wandstärkenbereiche, Materialien / Werkstoffe, Wassertiefen sowie Geometrien.

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

Während der im zweiten Halbjahr geplanten Workshops zusammen mit der Universität Hannover werden die realen Zerlegebedingungen abschließend vereinbart und die Arbeitspakete AP1 und AP2 weiter ausgearbeitet. Vorbereitende Arbeiten zum AP5 "Lastenheft fernhantierte thermische Zerlegung" werden durchgeführt.

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

Keine

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 31.07.2018	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9404
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Leibniz Universität Hannover - Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Innovatives Seilschleifkonzept für die Bearbeitung von Stahl (InnoSeil)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> vom 01.12.2017 bis 30.11.2020	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 457.918,94 €
<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, die Leistungsfähigkeit von Seilschleifwerkzeugen für den Rückbau metallischer Strukturen in Kernkraftanlagen um 10 bis 20 %, sowie deren Standzeit um bis zu 50 % zu steigern. Da bei der Bearbeitung von Metall kein Selbstschärfeneffekt der eingesetzten Schleifperlen auftritt, werden beim Seilschleifen von Metallen derzeit ausschließlich einschichtig belegte Schleifperlen eingesetzt. Im Gegensatz zu den mehrschichtigen Schleifperlen liegt hier nur eine Lage Schleifkörner in der Bindung vor. Ist diese verschlissen, muss das komplette Seil ausgetauscht werden, sodass hohe Werkzeugkosten entstehen. In Kombination mit hohen thermischen Werkzeugbeanspruchungen ist die Standzeit der Diamantseilschleifwerkzeuge gering. Zudem kann bei vielen Rückbauanwendungen nicht mittels Wasser gekühlt werden. Durch die Nutzung von mehrschichtigen Perlen mit temperaturbeständigen CBN-Schleifkörnern und die Identifikation einer optimalen Bindung für die Bearbeitung von Stahl wird eine Selbstschärfung der Perlen während des Prozesses ermöglicht. Zusätzlich ist die thermische Stabilität der konventionellen Gummierung auf etwa 80 °C begrenzt. Deshalb soll eine neue Vergussmasse zum Verfüllen der Perlenzwischenräume entwickelt werden, die sich durch eine zu Gummi vergleichbare Adhäsion auf dem Trägerseil, aber insbesondere durch eine höhere thermische Stabilität auszeichnet. So entsteht ein Demonstrator, dessen Leistungsdaten die Referenzwerte von kommerziell erhältlichen Seilschleifsystemen zur Bearbeitung von Stahl deutlich übertreffen.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

### AP 1 Entwicklung angepasster Schleifperlen durch Flachsleifuntersuchungen

Identifikation geeigneter, keramischer (oder metall-keramisch) gebundener CBN-Schleifbeläge für den Einsatz in mehrschichtigen Seilschleifperlen.

### AP 2 Entwicklung einer angepassten Vergussmasse

Darauf aufbauend folgt die Entwicklung einer thermisch stabilen Vergussmasse zum Verfüllen der Perlenzwischenräume, die eine im Vergleich zum konventionellen Gummi vergleichbare Adhäsion auf dem Trägerseil aufweist.

### AP 3 Prozessentwicklung und Herstellung eines Werkzeug-Demonstrators

Die gewonnenen Erkenntnisse werden zur Entwicklung eines neuen Werkzeugkonzepts verwendet und dessen Leistungsdaten bestimmt.

### AP 4 Laboruntersuchungen zur Bewertung der Leistungsfähigkeit des Demonstrators

Abschließend werden die Leistungsdaten eines vollwertigen Demonstrator-Werkzeugs einem vergleichbaren, kommerziellen Diamantseilschleifwerkzeug gegenübergestellt.

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

AP 1: Ziel des Arbeitspaketes ist die Entwicklung einer mehrschichtig gesinterten Bindung für das Seilschleifen von Stahl. Anstatt Diamant wird das temperaturbeständigere und nicht kohlenstoffaffine CBN als Abrasiv eingesetzt. Hier wurde das CBN50 mit einer Korngröße von B602 von der Fa. Ceratonia ausgewählt. Es zeichnet sich durch eine blockige Form und eine sehr hohe Festigkeit aus. Damit ist es prädestiniert für den Einsatz beim Seilschleifen mit hoher Schlagbeanspruchung. Als Bindung wurde zunächst, gemeinsam mit der Fa. BDW-Binka, eine keramisch-metallische Hybridbindung in 4 Iterationsschritten entwickelt. Für den Einsatz der so entstandenen Prototypenperlen wurde ein rotationsymmetrischer Grundkörper entwickelt. Die Perlen werden hier in definiertem Abstand auf den Umfang des Grundkörpers geklebt, sodass eine „Ritzscheibe“ entsteht. Zusätzlich wurden zwei Segmente des Grundkörpers herausnehmbar konstruiert, wodurch kontinuierlich der Verschleißzustand der Schleifperlen untersucht werden kann. Zusätzlich werden aktuell marktübliche aktivgelötete Schleifperlen auf der Ritzscheibe als Referenz eingesetzt, um die Leistungsfähigkeit der neuartigen Schleifperlen zu bewerten. Zudem ist so ein Vergleich zwischen Analogieprozess und realem Seilschleifprozess hinsichtlich Korn- und Bindungsbelastung der Perlen möglich.

AP 2: Für die Auswahl einer geeigneten Vergussmasse wurde mit der Fa. Dr. Schulze GmbH ein Unterauftragnehmer gefunden, der über eine flexible Fertigung von Seilschleifwerkzeugen verfügt. In einem vorherigen Forschungsprojekt hat sich der Werkstoff TPU-X als ungeeigneter Vergusswerkstoff herausgestellt. TPU-X hat sich zwar als thermisch stabil herausgestellt, die chemische Anbindung an das Trägerseil war jedoch nicht ausreichend. Deswegen wurden als Ausgangsstoffe zunächst Poly-Trifluorpropyl-Vinyl-Methyl-Siloxane (FVMQ) und Fluorkautschuk (FPM) ausgewählt. FVMQ besitzt gleichbleibende mechanische Eigenschaft bis zu einer Temperatur von etwa 200 °C. FPM ist ebenfalls bis etwa 200 °C thermisch stabil und zeichnet sich durch hohe mechanische und chemische Verschleißfestigkeit aus. Hier wird derzeit seitens Dr. Schulze die Verarbeitbarkeit des Materials in der Fertigung überprüft. Es werden zusätzlich zu Seilprototypen zunächst Seilabschnitte ohne Schleifperlen gefertigt. So kann mit Hilfe von Zug- und Biegeversuchen im ersten Schritt das Potential der Vergussmasse bewertet werden, bevor ganze Seile gefertigt werden.

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

AP 1: In diesem Arbeitspaket werden die aktuell laufenden Versuche mit Referenzperlen und den neuartigen gesinterten Schleifperlen abgeschlossen. Anhand des Verschleißverhaltens und des Verlaufes des Kornüberstandes über der Zeit wird in Absprache mit der Fa. BDW-Binka die Bindungszusammensetzung angepasst.

AP 2: Sobald die Seilabschnitte mit der Vergussmasse fertiggestellt sind, werden Biegeversuche durchgeführt und die Vergussmasse bei unterschiedlichen Temperaturen thermisch belastet. Anschließend werden Seilschleifwerkzeuge mit der vielversprechendsten Vergussmasse gefertigt und eingesetzt.

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

BMBF-15S9134: „Angepasstes Seilschleifen komplexer, metallischer Strukturen (Sekomet)“, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen der Leibniz Universität Hannover:  
Der Werkstoff TPU-X wurde in diesem Vorhaben bereits als Vergusswerkstoff eingesetzt, was aber eine wesentlich verringerte Standzeit gegenüber der konventionellen Gummierung auf. Die Ergebnisse werden im Schlussbericht des Vorhabens veröffentlicht.

## **6. Berichte und Veröffentlichungen**

Es wurden bisher keine Ergebnisse veröffentlicht.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 31.06.2018		<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9215A	
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden			
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt LaPLUS: Laserdekontamination von Beton- und Metalloberflächen			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2015 bis 31.12.2018		<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 670.982,00 €	
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof 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 Dekontacke 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: in Bearbeitung
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: in Bearbeitung
TUD-9:	Anfertigen des Abschlussberichts, Status: nicht begonnen

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

**TUD 3:** Im Rahmen der Laborversuche zur Bewertung der maximalen thermochemischen Zersetzung wurden umfangreiche Temperaturprofile im Arbeitskopf aufgenommen. Die erzielten Temperaturtransienten liegen für das Anfahren des Prozesses bei 2,5 s für das Erreichen der gewünschten Zersetzungstemperatur von 800 °C und bei 2,1 s für das Abfahren von 800 auf <250 °C. Diese Transiente der Aufheizung gilt als konservativer Wert, da die Aufheizung im Laserspot deutlich schneller ist. Aufgrund der schnellen Abkühlung des Abgases nach Verlassen des Prozessbereiches kann angenommen werden, dass PCB im Abgasstrang, soweit noch vorhanden zersetzt wird und kein oder kaum PCDD/F gebildet wird. Für den vollständigen Abtrag des für die Laborversuche genutzten Lacksystems wird mindestens eine Streckenenergie von 800 kJ/m benötigt, wobei die Laserleistung oberhalb 6 kW liegen muss. Im Labor wurden großflächige Tests mit dem Beton-Arbeitskopf an Wand, Boden und Decke durchgeführt. Die Bearbeitung von 90° Innen-Kanten wurde ebenfalls erfolgreich getestet.

**TUD 5:** Die Absaugung am Arbeitskopf für metallische Oberflächen wurde modifiziert, um in einem parallelen Absaugstrang auswertbare Filter zu installieren. Die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse zeigen messbare Signale aller geprüften Surrogate (Cobalt, Strontium, Caesium) im Filter. Zur Optimierung für den Dauereinsatz des Lasersystems wurde die Absaugdüse angepasst. Der angepasste Arbeitskopf weist eine Absaugung mit größerem Durchmesser zur Erhöhung des Durchflusses auf. Dies erlaubt die weitere Reduktion von aus dem Arbeitskopf austretenden Partikeln. Die Anforderungen des Arbeitsschutzes durch den potentiellen Anwender KTE werden vom Arbeitskopf eingehalten.

**TUD 6:** Die Planung der Vor-Ort-Demonstration im MZFR der KTE wurde abgeschlossen. Die Demonstrationsversuche werden im Raum 914 des MZFR vom 02.07. bis zum 13.07.2018 durchgeführt. Die zu bearbeitenden Flächen wurden in einem Vorführ-Parkour zusammengefasst. Mittels der Gefährdungsanalyse der durchzuführenden Arbeiten wurden die Erlangung der Zugangsberechtigung und die Abstimmung der Termine abgeschlossen. Die Laser (CL 150 und Diodenlaser LDF 1500-10000) der TU Dresden werden in die KTE transportiert und dort in Betrieb genommen. Die Zielparameter wurden zwischen KTE und TUD abgestimmt. Wichtige Ziele sind die Bearbeitbarkeit von Wänden, Decken und Böden, sowie die Prüfung der Laser-Abschaltautomatik bei Kontaktverlust zur Wand.

**TUD 7:** Die Arbeiten zum AP TUD-7 erfolgen aktuell analog TUD-6. Für die Vor-Ort-Demonstration werden von KTE Proben hergestellt, da der Zutritt zum Kontrollbereich, insbesondere den Heißen Zellen im Rahmen des Prototypverfahrens nicht realisiert werden kann. Während der Versuche soll die Übertragbarkeit der Laborergebnisse hinsichtlich erzielter Abtragtiefen und Gewährleistung der Vermeidung von Schmelzphasenbildung geprüft werden.

**TUD 8:** Die Problemstellungen der Dekontamination im Verbund mit technologischen Vorgaben, sowie mit Schutzziele in ökologischer und gesundheitlicher Hinsicht dienen als Bewertungsgrundlage für die Technikfolgenanalyse. Um die potentiellen Auswirkungen der Neuentwicklung auf die identifizierten Stake-Holder zu bewerten, wird mittels eines Schalenmodells zwischen in differenzierter Prognostizierbarkeit zu trennenden Bereichen gearbeitet.

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

**TUD 3:** Für die bisher erreichten Ergebnisse hinsichtlich Prozesstemperatur und Partikelentstehung soll eine statistische Absicherung der Messwerte erzielt werden. Die bisherigen Ergebnisse werden anhand einer überarbeiteten Arbeitskopfgeometrie geprüft. Neben der Variation der Leistung sollen weitere Prozessparameter überprüft werden, dies betrifft z.B. den Laservorschub und die Strömungsverhältnisse im Arbeitskopf.

**TUD 5:** Die Parameterkarten für den Abtrag werden auf alle relevanten Materialkombinationen erweitert, anhand der an Lacken und ferritischem Stahl geprüften Prozess- und Messroutinen.

**TUD 6:** Die Vor-Ort-Demonstration wird von 02.07.-13.07.18 durchgeführt. Anschließend werden sämtliche Geräte wieder zurück an die TU Dresden transportiert und der Versuchsstand wieder in Betrieb genommen um weitere Versuche durchführen zu können. PCB-Proben aus der KTE, die vor und nach der Dekontamination entnommen worden, werden ausgewertet.

**TUD 7:** Analog zum Arbeitspaket TUD-6 erfolgt der Rücktransport des Lasers sowie der Peripherie und der Aufbau des Versuchsstandes. Die in der KTE vor Ort dekontaminierten Metall-Proben werden in der TU Dresden auf den schadungsfreien Abtrag mittels REM untersucht.

**TUD 8:** Aufbauend auf der bereits erfolgten Konkretisierung der Aufgabenstellung wird durch Einordnung der betroffenen Bereiche Ökonomie, Ökologie und soziale und technologische Akzeptanz die Technikfolgenanalyse durchgeführt. Zur weiterführenden Initiierung der Technikfolgenanalyse wird nach Möglichkeiten zum Aufbau eines professionellen Netzwerkes gestrebt, welche die Arbeiten fortführen soll.

**TUD 9:** Der Abschlussbericht wird in Abstimmung mit den Projektpartnern erstellt.

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

-

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

„Advances in laser based decontamination of radioactive or chemical contaminated surfaces“,  
5th Annual International Nuclear Decommissioning Summit, 2018, Berlin

T. Kahl, G. Greifzu, M. Herrmann, W. Lippmann, A. Hurtado

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9215B
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Technische Universität Bergakademie Freiberg, Akademiestraße 6, 09599 Freiberg	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Laser-Dekontamination von Metall- und Betonoberflächen (LaPLUS)	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2015 bis 31.12.2018	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 259.410,00 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr.-Ing. Hartmut Krause	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> hartmut.krause@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 Fokuslage 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) (FG1)

Die Miniaturisierung der Detektionstechnik für die laserinduzierte Fluoreszenz zum Nachweis der CCl-Radikale (PCB-Zersetzung) wurde abgeschlossen und erfolgreich am Arbeitskopf für Beton der TUD getestet. Die glasfaserbasierte Lösung erlaubt dabei eine hohe Flexibilität für das Gesamtsystem und stellt gleichzeitig eine unveränderte Mobilität des Arbeitskopfes sicher. Zusätzlich zum eigentlichen Ziel des Arbeitspaketes wurden Tests mit einer spektral passenden,

kompakten UV-LED als alternative Anregungslichtquelle für die CCl-Fluoreszenz durchgeführt, um einen möglichen Ersatz für den aus technischer und wartungsbedingter Sicht aufwendigen Farbstofflaser zu finden. Verschiedene Tests dieser stark divergent abstrahlenden Lichtquelle in Kombination mit diversen Glasfasern sowie Ein- und Auskoppeloptiken ermöglichen jedoch nur eine deutlich zu geringe Leistungsdichte, sodass keine lichtinduzierte Fluoreszenz der CCl-Radikale möglich ist. Somit ist das Arbeitspaket 1 erfolgreich abgeschlossen.

(FG2)

Die Bestimmung und Bewertung der Oberflächengüte von Metalloberflächen mittels Thermographie wurde erfolgreich konzeptioniert und deren Machbarkeit nachgewiesen. Sowohl Lacke und andere organische Schichten als auch Oxide können sicher vom metallischen Untergrund unterschieden werden. Insbesondere ermöglicht dieses Verfahren die Beurteilung der Abtrags- und Reinigungsqualität durch den laserbasierten Prozess der TUD. Hierbei wird bevorzugt das von den Oberflächen emittierte IR-Licht im sogenannten Emissionsmodus detektiert, was eine geringe Erwärmung der Oberflächen (ca. 5K) voraussetzt. Das Arbeitspaket 2 ist somit erfolgreich abgeschlossen.

(FG3)

Chemilumineszenz-Untersuchungen an chlorhaltigen Flammen sind momentan in der Bearbeitungsphase. Derzeit gibt es noch keine relevanten Ergebnisse, welche die Chemilumineszenz als alternatives Verfahren zur laserinduzierten Fluoreszenz möglich machen.

(FG4)

Im Berichtszeitraum wurden weiterführende Untersuchungen an Epoxidharz-basierten Lackschichten durchgeführt. Hierbei wurde u.a. die Sensitivität der Thermographie hinsichtlich verkippter metallischer Oberflächen ins Auge gefasst. Je weiter der Beobachtungswinkel von der Senkrechten zur Oberfläche abweicht, desto geringer wird der thermographisch detektierte Kontrast zwischen Metall und Verunreinigung. Insgesamt ist dieser Effekt jedoch hinreichend klein, sodass eine Unterscheidung der Materialien weiterhin möglich ist. Darüber hinaus wurde die, für die Thermographie im Emissionsmodus notwendige, Erwärmung der zu untersuchenden Oberflächen mittels Bestrahlung durch IR-Licht untersucht und erfolgreich getestet. Diese ist bei entsprechender Strahlungsleistung und -dauer ausreichend um einen deutlichen thermographischen Kontrast zu erzeugen, der eine Unterscheidung von Verunreinigungen und Metalloberflächen erlaubt und einer (herkömmlichen) Oberflächenerwärmung um 7K-10K entspricht. Somit kann durch die IR-Bestrahlung der Emissionsmodus auch bei zunächst nicht erwärmten Proben angewendet werden. Abschließend wurde ein Verfahren zur Diskretisierung der Thermographie-Daten entwickelt, welches einem Nutzer die Zuordnung von Bereichen mit Verunreinigungen oder gereinigtem Metall graphisch erlaubt, ohne auf eine kontinuierliche Farbskala zurückgreifen zu müssen.

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

- FG3: Detektion der Chemilumineszenz von OH- und CH-Radikalen
- FG4: Untersuchung von Temperaturgradienten und extrem dünnen Schichten aus Polymeren bzw. Aluminiumoxid

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

Keine

**6. Berichte und Veröffentlichungen**

Keine

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018		<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9215C	
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Industrieanlagen Betriebsgesellschaft mbH, Einsteinstraße 20, 85521 Ottobrunn			
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Laser-Dekontamination von Metall- und Betonoberflächen (LaPLUS)			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.08.2015 bis 31.12.2018		<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 199.996,00 €	
<b>Projektleiter/-in:</b> Herr Dipl.-Ing. Hannes Jakob		<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> jakob@iabg.de	

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt LaColor ist vorgesehen, die erprobte Lasertechnologie zum Abtragen PCB-haltiger Dekontacke 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 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. Das Forschungsvorhaben wird in einem Verbundprojekt mit der TU Dresden (15S9215A) und der Bergakademie Freiberg (15S9215B) 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

AP 2:

- Im Rahmen von Erprobungsversuchen wurden Optimierungspotentiale am Arbeitskopf zur Bearbeitung von Metall- und Betonstrukturen erkannt. Diese wurden zwischen der TUD und der IABG abgestimmt und Maßnahmen festgelegt. Die Überarbeitung der Konstruktionen der beiden Arbeitsköpfe wurde abgeschlossen und aktualisierte Zeichnungssätze übergeben.
- Zur Durchführung von Versuchen in der KTE wurden neben ebenen Flächen auch Kanten ausgewählt, die einen Arbeitskopf zur Bearbeitung von Ecken erforderlich machen. Hierzu wurden entsprechende Aufsätze für den Beton- und Metallarbeitskopf konstruiert und mit der TUD abgestimmt. Die Aufsätze wurden bezüglich ihrer Fokusslage optimiert.

AP3:

- Zur technischen Dokumentation wird eine Konstruktionsbeschreibung erstellt, die neben dem Aufbau des Beton-Arbeitskopfes dessen Montage und Wartung beschreibt.

AP4:

- Zur Durchführung von Versuchen unter realistischen Umgebungsbedingungen in der KTE erstellt die IABG eine Gefährdungsbeurteilung. Darüber hinaus wurden in der Beurteilung Maßnahmen aufgezeigt zur Abstellung der Gefahren. Die Gefährdungsbeurteilung wurde mit der TUD und KTE abgestimmt und an die KTE übergeben.

AP P:

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

### 4. Geplante Weiterarbeit

AP3:

- Abschluss der technischen Dokumentation

AP5:

- Abschlussdokumentation

### 5. Bezug zu anderen Vorhaben

Das Forschungsvorhaben wird in einem Verbundprojekt mit der TU Dresden (15S9215A) und der Bergakademie Freiberg (15S9215B) durchgeführt.

### 6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9403A
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> iUS Institut für Umwelttechnologien und Strahlenschutz GmbH	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt: Automatisierte Dekontaminationskabine für den Einsatz beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Dokumentation 4.0	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2018 bis 31.12.2019	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 126.118,07 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Dr. Maarten Becker	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> becker@ius-online.eu

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Zuge des Rückbaus kerntechnischer Anlagen fallen viele gering kontaminierte oder kontaminationsverdächtige Metallteile an (rund 10.000 t je Anlage). Diese werden derzeit in der Regel in einer Nass- oder Trockenstrahlkabine manuell dekontaminiert. Diese Arbeit ist aufgrund der notwendigen Sicherheitsvorkehrungen, insbesondere zum Schutz gegen Inkorporation radioaktiver Partikel (Atemschutz, mehrlagiger Kontaminationsschutz, mechanischer Schutz gegen Strahlungsmittel) und der auftretenden Rückstellkräfte, physisch wie psychisch sehr fordernd. Die Einsatzzeiten sind nur kurz und die Tätigkeit ist von Unterbrechungen geprägt. Gesamtziel des Projektes ist die Entwicklung eines Verfahrens zur automatisierten Dekontamination von gering belasteten Bauteilen mit Hilfe des Hochdruckwasserstrahlens und ihre automatisierte Dokumentation. Die Funktionsfähigkeit soll an Hand eines Laborrobotiksystems nachgewiesen werden.

Bestandteil des Teilprojekts „Dokumentation 4.0“ ist die konsequente Umsetzung einer Industrie-4.0-Strategie. Diese führt die Daten aus der Bearbeitung, der Geometrieerkennung und der Werkstückeingabedaten in eine werkstückscharfe Dokumentation zusammen. Dazu wird eine semantische Meta-Ebene verwendet, in die maschinenlesbare und manuell hinzugefügte Daten integriert werden. Dadurch wird erreicht, dass so viel wie möglich automatisiert dokumentiert werden kann, ohne die Möglichkeiten der manuellen Hinzufügung auch von Multimediainhalten und Daten zu schmälern. Die automatisch hinzugefügten Daten aus der Maschinenkonfiguration und verschiedenen Messwerten werden zudem strukturiert und dem menschlichen Leser zugänglich gemacht. Der Ansatz über eine semantische Metaebene abstrahiert die maschinennahe Ebene in eine herstellerunabhängige Ebene, auf der die eigentliche Dokumentation zusammengestellt wird.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

WBS-Code	Titel
10	Projektsteuerung, Controlling
20.10	Vorbereitung KM Workshop
20.40.10	KM Workshop
20.50	Ontologieentwicklung
20.60	Erstellung Wissensplattform
20.70.10	Anwenderschulung
40.10	Konzeption Industrie-4.0-Ansatz zur Dokumentation
40.20	Prototypische Ausführung des Ansatzes mit Integration in die Wissensplattform; Zusammenstellung einer automatisierten Beispieldokumentation
60.10	Anforderungen aus kerntechnischem Regelwerk
60.20	Genehmigungsvoraussetzungen
60.30	Entwicklung Schutzkonzepte
60.40	Rücksprache Betreiber & Behörden
60.60.10	Anforderung aus Kundensicht
80.10.10	Theoretische Konzeptentwicklung Bahnsteuerung
80.30	Prüfung der Nutzung vorhandener Packages, Schnittstellenkonzeption
100.10.10	Ermittlung typischer Bauteile
100.20.10	Definition der Kontaminationsproblematik; Hinterschneidungen, Bohrungen, Spots etc.
100.30.10	Parametrisierte Geometriezerlegung in Grundtypen
140.50	Strahlenschutzauslegung bei Konstruktion und Entwicklung realitätsnaher Prototypkabine
180.10	Auswertung, Optimierung, Abschluss

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

**WBS 10:** Aus der Struktur des Projekts heraus übernimmt die iUS Institut für Umwelttechnologien und Strahlenschutz GmbH (iUS) die Überwachung des Projektfortschritts. Außerdem steht sie bereit als vermittelnde Instanz zwischen Zuwendungsgeber und -nehmer im Falle von finanziellen oder zeitlichen Abweichungen des Projektinhalts.

Bislang wurden mindestens einmal im Monat, wenn sinnvoll, mehrmals im Monat, virtuelle Projekttreffen zur Diskussion des Projektfortschritts abgehalten. Zudem haben sich die Verbundpartner vierteljährlich vor Ort am Geschäftssitz der RST GmbH in Hamminkeln sowie bei der Westfälischen Hochschule (WH) in Bocholt zur Besprechung eingefunden. Beim Treffen in Bocholt stellten die Mitarbeiter der WH die Laboratorien der Hochschule vor (WBS 10).

**WBS 20.10, 20.40.10, 20.50, 20.60, 20.70.10:** Die Wissensmanagement-Plattform (Knowledge Management (KM)) wurde nach Diskussion mit den Verbundpartnern und Entwicklung der projektspezifischen Ontologie aufgesetzt und ist für alle Projektbeteiligten erreichbar. Hier erfolgt transparent die Projektarbeit auf Detailtiefe des Projektplans, die Aggregation des generierten Wissens und der Daten sowie das Ergebnisreporting. In einer nachfolgenden Anwenderschulung wurde die KM-Plattform allen Beteiligten vorgestellt und ihre grundsätzliche Benutzung erläutert. Detailfragen werden im regelmäßigen Austausch geklärt.

**WBS 40.10, 40.20:** Im Ansatz der auf Industrie-4.0 basierenden Methoden geplanten Dokumentation müssen die in den Satellitensystemen aufkommenden Daten, entweder in Rohform oder schon aggregiert, in die KM-Plattform überführt werden. Zur Vorbereitung des automatisierten Austauschs der Daten wurde ein auf JavaScript basierendes Framework WiMeCo programmiert, das über API-Aufrufe das Abfragen und Senden von Daten zwischen den Systemen (Interkommunikation zwischen KM-Systemen) erlaubt. Zur Erprobung des Frameworks wurde die gesamte Projektplanstruktur auf Aktivitätsebene der einzelnen Projektpartner automatisiert über die API-Schnittstellen in die KM-Plattform übertragen.

Um die in einer realen Umgebung anfallende Datenmenge erfassen zu können, sind dezentrale Rechereinheiten an den Datenbussen der Maschinen notwendig, die in Echtzeit oder einer Prozess angepassten Näherung der Echtzeit die Datenkanäle im entsprechenden Datenformat und Protokoll analysieren, filtern und aggregieren können, und diese Daten von der KM-Plattform wiederum erfasst und ausgewertet werden können. Um dieses System prototypisch erproben zu können, erfolgte die Anschaffung von einem industrietauglichen Kleinstrechner (RevolutionPi), basierend auf den bekannten RasperryPi-Rechnern, sowie die entsprechenden IO-Module zur Datenerfassung.

**WBS 60.10, 60.20, 60.30, 60.40, 60.60.10:** Die grundsätzlichen Anforderungen aus dem kerntechnischen Regelwerk (Einschluss der Aktivität, Sicherstellung der Einhaltung von Dosisgrenzwerten, Optimierung unterhalb der Dosisgrenzwerte, Erforderlicher Schutz von Mensch und Umwelt nach Stand von Wissenschaft und Technik, Schutz gegen sonstige Einwirkungen Dritter) wurden identifiziert und werden nun konkretisiert.

**WBS 80.10.10:** Für die Dokumentation müssen alle Oberflächen des Bauteils nachweislich abgefahren worden sein und mit den Dekontparametern wie z.B. Druck, Strahlwinkel, Vorschubgeschwindigkeit dokumentiert werden. Ziel der Untersuchung ist es, aus einer geeigneten Geometriebetrachtung des Bauteils ein geschlossenes Konzept der Bahnsteuerung abzuleiten. Aus den Untersuchungen sind bislang zwei Konzepte hervorgegangen.

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

**WBS 40.10:** Mit der demonstrierten API-Kommunikation kann nun der geschlossene Ansatz zur Dokumentation entwickelt werden.

**WBS 60.10, 60.20, 60.30, 60.40, 60.60.10:** Den identifizierten Anforderungen werden nun Prozesse oder Maßnahmen entgegengestellt, die ihre Einhaltung sichern. Die Maßnahmen werden dann zu einem gesamten Schutzkonzept zusammengeführt, das die Einhaltung in der Abstufung technische Maßnahmen, organisatorische Maßnahmen, persönliche Schutzausrüstung sicherstellt. Letztere sind grundsätzlich nur für Interventionen vorgesehen. Im nächsten Schritt wird der Entwurf des Schutzkonzepts mit Betreibern, Behörden und Sachverständigen diskutiert.

**WBS 80.10.10:** Aus den Vorarbeiten sind bislang zwei Konzepte hervorgegangen, die nun an vereinfachten Geometrieformen getestet und deren Eignung für komplexere Geometrien geprüft werden.

**WBS 80.30:** Die Bahnsteuerungskonzepte werden in Form von Algorithmen umgesetzt, die Gebrauch von Schnittstellensoftware zur Roboterapplikation sowie zu Geometrieframeworks machen. Das große Interesse an Robotik in der Wirtschaft, aber auch im privaten Sektor hat eine

Reihe von Open Source Bibliotheken entstehen lassen, an denen auch Keyplayer der Industrie wie z.B. Intel beteiligt sind. Aus dem Softwareangebot werden geeignete Kandidaten ausgewählt.

## 5. Bezug zu anderen Vorhaben

-

## 6. Berichte und Veröffentlichungen

BECKER, M.; BORRMANN, F.; FINKENBERG, M.; FINKENBERG, H.; NISCH, A.: AuDeKa: a BMBF funded project to develop an automated decontamination cabin with documentation based on industry 4.0 features. In: *Proceedings of the 49th Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT 2018)*. Berlin, 2018

BORRMANN, F.; BÜCHLER-RODER, J.; BECKER, M.; GESINN, A.: Lean documentation approach in decommissioning. In: *Proceedings of the 49th Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT 2018)*. Berlin, 2018

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018		<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9403B	
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> <b>Westfälische Hochschule Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen</b>			
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Audeka			
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.18 bis 31.12.19		<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 336.638,60 €	
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr.-Ing. Antonio Nisch		<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> Antonio.nisch@w-hs.de	

### 1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Gesamtprojektes der Verbundpartner ist die Entwicklung eines Verfahrens zur automatisierten Dekontamination von gering belasteten Bauteilen mit Hilfe des Hochdruckwasserstrahlens in einer dafür ausgelegten Kabine und ihre automatisierte Dokumentation. Die Funktionsfähigkeit soll an Hand eines Robotersystems im Labormaßstab nachgewiesen werden.

Die Ziele des Teilprojektes der Westfälischen Hochschule mit dem Schwerpunkt automatisiertes Programmieren ergeben sich auch aus den Arbeitsschwerpunkten:

- Erzeugung einer Punktwolke mit Hilfe eines 3D Scanners. Ziel ist die rasche und fehlerfreie Erstellung der Punktwolke von unbekanntem Objekten im Raum
- Umwandlung in ein Modell. Ziel ist die automatisierte Vereinfachung der Punktwolke und die Erzeugung des notwendigen Modells zur Beschreibung des Bauteils
- Entwicklung/Erstellung von Algorithmen, die die Erkennung von geometrischen Features an der Punktwolke, bzw. am Modell und ihre Zerlegung in einzelne Geometriegruppen automatisiert ermöglicht.
- Parametrisierung
- Automatisierte Erzeugung der Roboterbahnen zur simulierten vollständigen Dekontamination. Ziel ist die Erstellung von Algorithmen die den automatisierten Aufruf von bekannten geometriespezifischen Ablaufbewegungen ermöglicht.
- Erzeugung eines Roboterprogramms unter Berücksichtigung verfahrensspezifischer Parameter, wie z. B. Abstand der Hochdruckdüse, Winkel oder Art der Düse.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Auszug aus den geplanten Tätigkeiten:

Beschreibung
Definition der Strategie zur direkten Generierung von Bearbeitungsbahnen direkt aus Punktwolken; Konzept zur Simulation der Kontaminierung
Definition der geometrischen Features, Definition von Schnittpunkten; Bearbeitung der Punktwolke hinsichtlich der geometrischen Anforderungen, Menüführung
Aufbau der Versuchsanlage Roboter, Scanner, Positionierer, Messtechnik, Festlegung von Arbeitsflächen, Justierung, Kalibrierung, Inbetriebnahme
Ermittlung mathematischer Verfahren zur Zerlegung von Topologien aus dem Scan in vordefinierte Geometriebausteine
Modellierung der Zelle zur Simulation der Abläufe, Implementierung der Bearbeitungsstrategien; Simulation der Bewegungsabläufe; Kollisionsschutz
Abgleich der Simulation mit dem realen Aufbau; Ermittlung von realen Parametern
Ermittlung der Grenzen des Scanners zur Aufnahme der Geometrie in realer Versuchsanlageumgebung, Einschränkung durch Roboterbahnbeschränkungen
Simulation der Dekontamination von Flächenteilen, deren Erfassung und Abtrag
Erstellung von Modellteilen mit speziellen schwierigen Geometrien zum Test der Anlage
Umfangreiche Untersuchung an realen Bauteilen; z.B. Bahnverlauf, Kollisionsschutz, Bearbeitung schwieriger Stellen; Simulation Kontamination und Abtrag

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

Entsprechend den Arbeitspaketen im Zeitplan wurde im abgelaufenen Zeitraum die theoretische Konzeptentwicklung zur Bahnsteuerung und die Strategie zur Überführung der Punktwolke in eine Geometrie (Arbeitspakete 8.1 und 8.2) bearbeitet. Weiterhin wurden die Pflichtenhefte für die zu beschaffenden Komponenten erstellt und der Beschaffungsvorgang gestartet (zu Arbeitspaket 8.4). Im Einzelnen wurden folgende Tätigkeiten ausgeführt:

Im ersten Schritt wurden die derzeitigen Möglichkeiten zur Aufnahme von 3D-Körpern betrachtet. Dafür wurden verschiedene Hersteller zur Produktvorstellung ihrer 3D-Scanner eingeladen. Zur Recherche weiterer optischer Messtechniken, wurde die Messe Control 2018 in Stuttgart besucht. Mit Hilfe der hier erworbenen Kenntnisse wurde ein Kamerasystem gewählt, das für den geplanten Einsatz geeignet ist.

Für die 3D-Bildverarbeitung wurden verschiedene 3D-Bildverarbeitungsbibliotheken untersucht und für den Einsatz in dem Projekt beurteilt. Beispielhaft seien hier die Bibliotheken ITK, MVTEC Halcon und PCL genannt. Mehrere dieser Bibliotheken erfüllen die gewünschten Anforderungen. Vorerst wird mit der 3D-Bibliothek PCL gearbeitet, die ebenfalls die Anforderungen erfüllt.

Zur kollisionsfreien Ansteuerung des Industrieroboters wird dieser, gemeinsam mit seiner Umgebung und dem unbekanntem Bauteil, simuliert. Dazu wurden auch hier verschiedene Simulationsprogramme und Bibliotheken untersucht und beurteilt. Einige Beispiele sind: Die Simulations- und Programmiersoftware RobotStudio, eine weitere Software ist RoboDK. Sie erfüllen die Anforderungen und sind teilweise durch offene Programmierbibliotheken erweiterbar. Die Robotics Library und OpenRAVE sind Open Source, modular aufgebaut und

erfüllen größtenteils die Anforderungen. ROS MoveIt ist Open Source, hat bereits viele nützliche Tools, ist aber sehr schwer zu erweitern.

Um die Bibliotheken beurteilen zu können, wurden zunächst mithilfe eines Laser Scanners Punktwolken von verschiedenen Körpern generiert. Diese wurden dann unter Verwendung der Bibliotheken weiter bearbeitet und entsprechend den Anforderungen aus dem Projekt beurteilt.

Von den recherchierten Roboter Bibliotheken und Programmen wurde mit einer einfach zu implementierenden Version gearbeitet, die eine analytische inverse Kinematik verwendet, statt einer numerischen. Die analytische Methode hat den Vorteil, dass sie für eine Pose des Roboterendeffektors im Raum direkt alle möglichen Achskonfigurationen berechnen kann und das weitaus schneller als eine Lösung der numerischen Methoden. Nach Beschreibung der Roboter Kinematik eines Roboters, konnte mit der offenen Bibliothek die Inverse Kinematik für den spezifischen Fall berechnet werden. Wenn die Lösung einer Bewegungsbahn existiert, können mit der offenen Bibliothek Kollisionen in der simulierten Umgebung und dem Bauteil überprüft werden. Um später die Soll-Bewegungen des Roboters planen zu können, wird eine Roboterbibliothek speziell weiter entwickelt, die auf einfachem Weg die Eingabe von Bahnen ermöglicht. Wenn die komplette Roboterbahn berechnet wurde, wird sie in den entsprechenden Roboterprogrammcode umgewandelt und ist so auf dem realen Roboter ausführbar. Dieses konnte im Simulationsbetrieb nachgewiesen werden.

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

Die genannten Arbeitspakete werden weiter bearbeitet. Nach Lieferung der bestellten Geräte wird die Versuchszelle aufgebaut. (8.2 -8.4). Danach wird die automatisierte Bahnerstellung bearbeitet.

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

Derzeit keine

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

Bisher keine

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9403C
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> RST GmbH	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundvorhaben: Automatisierte Dekontaminationskabine für den Einsatz beim Rückbau kerntechnischer Anlagen – Teilvorhaben: Entwicklung und Konstruktion einer vollautomatisierten Dekontaminationskabine mittels Hochdruckwasserstrahlen	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.01.2018 bis 31.12.2019	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 153.410,59 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Matthias Finkenberg	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> m.finkenberg@rst-gmbh.com

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Verbundprojektes ist die Entwicklung eines Verfahrens zur automatisierten Dekontamination von gering belasteten Bauteilen mit Hilfe des Hochdruckwasserstrahlens und ihre automatisierte Dokumentation. Die Funktionsfähigkeit soll an Hand eines Laborrobotiksystems nachgewiesen werden.

Die RST GmbH bearbeitet die Teilaspekte Ermittlung der Anforderungen an die Anlage, Erstellung der Spezifikation, Entwicklung/Konstruktion der Dekontzelle und notwendiger Bauteilspannsysteme, Kostenschätzung einer Prototypenanlage und wirkt bei der Algorithmenentwicklung, den Versuchen im Labormaßstab, sowie den Auswertungen der Entwicklungsergebnisse mit.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

WBS-Code	Titel
10.20	Reporting Arbeitsergebnisse RST
10.80.20	Kick-Off RST
20.20	Ermittlung Wissensbereiche und Parameter RST
20.40.20	KM Workshop
20.70.20	Anwenderschulung
60.50	Pflichtenheft Gesamtanlage
60.60.20	Anforderung aus Kundensicht
60.70	Leistungsgrenzen Gesamtsystem
100.20.20	Definition der Kontaminationsproblematik; Hinterschneidungen, Bohrungen, Spots etc.
120.10	Ermittlung von Reinigungsstrategien und parametrisierten Bahnen für Grundtypen
120.20	Ermittlung der Beschränkungen durch Achsen und Wasserführung
140.10	Auswahl geeigneter Komponenten, Spezifikation der Einzelkomponenten
140.20	Verfahrenstechnische und konstruktive Implementierung des Schutzkonzepts
140.30	Ermittlung der Abweichungen von der Grundkonstruktion
140.40	Anpassung der Konstruktion für Wasseraufbereitung
140.60	Implementierung der Strahlenschutzkonzeption
140.70	Auslegung der Betriebsparameter, Kostenschätzung
140.80	Implementierung der Ergebnisse der Versuche
180.20	Auswertung, Optimierung, Abschluss

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

**WBS 10.20, 10.80.20:** Am 12.01.2018 fand bei RST eine Kick-off-Veranstaltung statt, an der die am Verbundprojekt beteiligten Projekt- und Teilprojektleiter teilgenommen haben. Es wurden die Aufgaben der nächsten Arbeitspakete besprochen, sowie Abgrenzungen bzw. Schnittstellen geklärt. Im Anschluss wurde ein RST internes Kick-off des Teilprojektes durchgeführt, in dem den Projektbeteiligten die Ziele, Arbeitspakete und Rollen vorgestellt wurden und die Aufgaben zur Bearbeitung der nächsten Arbeitspakete verteilt wurden.

Im Folgenden haben mindestens im vier Wochen Rhythmus virtuelle Projektstatusmeetings stattgefunden, sowie zwei weitere Projektmeetings, eines bei RST und das letzte bei der WH am Standort Bocholt.

#### **WBS 20.20, 20.40.20, 20.70.20:**

Im Rahmen des APs „Konzeption und Aufbau Ontologie und KM-Lösung“ sind die Wissensbereiche von RST systematisch ermittelt worden. Die Ergebnisse sind in den Aufbau der KM-Plattform eingegangen. Des Weiteren sind die Projektteilnehmer von RST im Umgang mit der durch den Projektpartner iUS für das Projekt aufgebauten projektinternen semantischen Plattform geschult worden.

#### **WBS 60.50:**

Im Rahmen des Arbeitspaketes „Analyse und Beschreibung der Gesamtspezifikation“ erstellt RST das Pflichtenheft der Gesamtanlage. Die Struktur des Pflichtenheftes ist erstellt worden und sämtliche Komponenten, die zur Fertigung einer automatisierten Dekontamination relevant sind, sind benannt. Für jede Komponente des Gesamtsystems wird eine Funktionsbeschreibung erstellt, die Pflichtenanforderungen definiert und mögliche „kann-Optionen“ beschrieben, welche für den funktionalen Erfolg des Systems nicht zwingend notwendig sind. Dieses ist aktuell noch in Bearbeitung.

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

#### **WBS 60.50, 60.60.20, 60.70:**

Das Pflichtenheft der Gesamtanlage wird fertig gestellt und in die KM-Plattform importiert. Es bildet die konzeptionelle Grundlage für Diskussion mit Betreibern und anderen möglichen Stakeholdern, wie Sachverständigen und Behörden. Relevante Ergebnisse dieser Diskussionen fließen in einem iterativen Prozess in das Pflichtenheft ein. Im nächsten Schritt werden die Leistungsgrenzen des Gesamtsystems bestimmt und dokumentiert.

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

Keine

## 6. Berichte und Veröffentlichungen

BECKER, M.; BORRMANN, F.; FINKENBERG, M.; FINKENBERG, H; NISCH, A.: AuDeKa: a BMBF funded project to develop an automated decontamination cabin with documentation based on industry 4.0 features. In: *Proceedings of the 49th Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT 2018). Berlin, 2018*

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<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 Zerletechnik, die beim Rückbau kerntechnischer Anlagen eingesetzt wird, ist das Wasser-Abrasiv-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 Schneiden entsteht durch die Mitnahme von Schnittfugenmaterial 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 Stahlspäne mit Hilfe eines Magnetfilters in einer Separationsanlage (NENAWAS-Anlage) von dem Abrasiv getrennt. Ziel des MASK-Forschungsprojekts ist die Verbesserung des bestehenden Verfahrens durch experimentelle und numerische Untersuchungen, sowie die Entwicklung einer Anlage (MASK-Anlage) für Trennversuche mit radioaktivem Material.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

#### 1) Experimentelle und analytische Untersuchungen: AP 3,4,5 und 6

Aus der Abschätzung (AP 2), dass auch mit einem verbesserten Magnetfiltersystem eine Freigabe zur Deponierung des separierten Abrasivs nicht zu erreichen ist, wurden zusammen mit dem INE die zusätzlichen Verfahrensschritte „Nasssieben“ und „Filtern“ entwickelt (AP 3 und AP 5) und apparatetechnisch umgesetzt. Mit Hilfe des Verfahrensschritts „Nasssieben“ kann der überwiegende Teil des Abrasivs zur Wiederverwendung abgetrennt werden, was den Sekundärabfall deutlich verringert. Es wurde ein rundes Sieb mit einer Maschenweite von 180 µm in einem drehbar gelagerten Gehäuse mit seitlichen Plexiglasscheiben eingesetzt, um die grobe Kornfraktion abzutrennen. Das Siebgehäuse wird bei Durchführung des Verfahrensschritts „Nasssieben“ mittels selbstsperrender Steckkupplungen in den Kreislauf der MASK-Versuchsanlage eingebunden. Für den Verfahrensschritt „Filtern“ (zur Abtrennung kleiner Stahlpartikel und kleiner Abrasivbruchstücke, die nicht wiederverwendet werden können), wurde ein handelsübliches Beutelfiltergehäuse ausgewählt. Das Beutelfiltergehäuse kann mit Beutelfiltern unterschiedlicher Maschenweite (für erste Versuche wurden Beutelfilter mit 1 µm und 100 µm Maschenweite beschafft) bestückt werden. Das Beutelfiltergehäuse wird über Kamlock-Kupplungen mit dem Kreislauf verbunden. Die Fließbilder für die zusätzlichen Betriebsarten wurden erstellt und die entsprechenden Kapitel in der Bedienungsanleitung angelegt. Der Koppelbehälter und der Probensammler wurden detailliert geplant und werden zurzeit gefertigt. Nach Funktionsprüfung und Inbetriebnahme der Druckluftversorgung (AP 6) wurde der Rührbehälter mit ca. 60 Litern destilliertem Wasser befüllt und die ersten Einzelkomponententests mit Dichtheitsprüfungen für die Doppelmembranpumpe, den Pulsationsdämpfer, das Rohrleitungssystem, die Handarmaturen, die Kupplungssysteme, das Magnetfiltersystem, das Sieb und den Beutelfilter durchgeführt. Es wurden Förderkurven in Abhängigkeit des eingespeisten Luftvolumenstroms und eingestellten Betriebsdrucks für die Doppelmembranpumpe aufgenommen. Mit der Doppelmembranpumpe konnte der geplante Fördervolumenstrom im Bereich von 3 bis 20 Litern pro Minute bei kleinster eingestellter Leistungsstufe (vier Stufen sind einstellbar) sicher erreicht werden. Durch Zuschaltung des Pulsationsdämpfers konnte der stark pulsierende Förderstrom deutlich gedämpft werden (visuelle Beobachtung). Zur ersten Funktionsprüfung des Rührers, des Siebs und des Beutelfilters wurden ca. 1,5 kg Abrasiv 80 HPX in den Rührbehälter eingefüllt. Mit dem Rührer konnte eine Suspension hergestellt werden und die Abrasivpartikel über das Sieb und den 1 µm Beutelfilter vollständig abgetrennt werden (bisher nur visuelle Bewertung). Beim Anfahren der Anlage konnten sogar Spuren von Stahlpartikel, die aus der Fertigung und Montage der Anlage stammen, an den Extraktorrohren des Magnetfiltersystems abgetrennt werden was dessen gute Funktionsfähigkeit veranschaulicht.

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

Der Entwicklungsplan wurde weiter erarbeitet. Zudem wurden erste experimentelle Untersuchungen am neuen Magnetfiltersystem durchgeführt. Eine CAD-Zeichnung des neuen Magnetfiltersystems wurde angefertigt.

#### 1+2) Experimentelle und numerische Untersuchung

Das Magnetfiltersystem wurde konstruiert und gefertigt. Die beiden Magnetoste wurden zwischen Plexiglasrohren (zur Beobachtung und Optimierung) eingebaut. Am höchsten Punkt des Magnetfiltersystems wurde eine absperrbare Entlüftungsleitung, die zum Rührbehälter führt, installiert sowie ein Differenzdruckmanometer zur Überwachung des Betriebsdrucks.

#### 4. Geplante Weiterarbeit

##### 1) Experimentelle und analytische Untersuchungen: AP 2-6 gemeinsam mit dem INE

Die folgenden Arbeiten werden im kommenden Berichtszeitraum durchgeführt:

- Einbau und Funktionsprüfung für die Komponenten Koppelbehälter und Probensammler (AP 6).
- Ermittlung der Spülwassermenge zur Rückspülung des Magnetfiltersystems (AP 6)
- Verbundtest mit Abrasiv 80 HPX für alle Komponenten der MASK-Versuchsanlage AP 4)
- Ermittlung der Auswirkungen des Pulsationsdämpfers auf den Betrieb bzw. die Betriebsarten der MASK-Versuchsanlage AP 6)
- Festlegung der Betriebsphasen für den Betrieb des Pulsationsdämpfers (AP 5)
- Durchführung eventuell notwendiger Änderungen auf Grund der Ergebnisse aus den Verbundtests mit Wasser und Abrasiv 80 HPX (AP 3).
- Erste Versuche mit inaktiven austenitischen Korngemischen zur Ermittlung der Betriebsparameter für die einzelnen Prozessschritte (AP 5). Proben aus Separationsversuchen werden chemisch und mikroskopisch am INE analysiert (AP 2).

Begleitend wird an der Betriebsanleitung für die MASK-Versuchsanlage weitergearbeitet.

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

Der Entwicklungsplan wird weiter erarbeitet. Zudem werden weitere Simulationen durch Integration von Datenanalyse in das bestehende Programm und experimentelle Untersuchungen am neuen Magnetfiltersystem durchgeführt.

#### 5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

#### 6. Berichte und Veröffentlichungen

„Vorstellung eines Magnetfiltersystems zur Behandlung von Sekundärabfällen der Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidtechnik“, Vortrag, Jahrestagung Kerntechnik (AMNT 2018), Berlin, 29.-30.05.2018

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<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 €
<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 Zerletechnik, die beim Rückbau kerntechnischer Anlagen eingesetzt wird, ist das Wasser-Abrasiv-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 Schneiden entsteht durch die Mitnahme von Schnittfugenmaterial 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 Stahlspäne mit Hilfe eines Magnetfilters in einer Separationsanlage (NENAWAS-Anlage) von dem Abrasiv getrennt. Ziel des MASK-Forschungsprojekts ist die Verbesserung des bestehenden Verfahrens durch experimentelle und numerische Untersuchungen, sowie die Entwicklung einer Anlage (MASK-Anlage) für Trennversuche mit radioaktivem Material.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Experimentelle und analytische Untersuchungen (INE/TMB):

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

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

Seitens des INE wurden im Berichtszeitraum die Arbeitspakete AP 2, AP 3, AP 4, AP 5 und AP 6 bearbeitet:

Im Rahmen von AP 2 wurden für das Abrasivmaterial (Barton 80 HPX) Strömungspotentialmessungen durchgeführt. Für das Abrasivmaterial wurde unabhängig von den ausgewählten Größenfraktionen ein negatives Zeta-Potential oberhalb von pH 2,8 erhalten. Literaturdaten von Stahllegierungen zeigen ein negatives Zeta-Potential im Bereich oberhalb von pH 3 bis 5. Stähle und Abrasivmaterial haben im neutralen pH Bereich somit eine negative Oberflächenladung. Eine Agglomeration von Abrasiv- und Stahlpartikeln, die eine Trennung behindern könnte, ist daher nicht zu erwarten und wird auch nicht beobachtet. Aus der Abschätzung (AP 2), dass auch mit einem verbesserten Magnetfiltersystem eine Freigabe zur Deponierung des separierten Abrasivs nicht zu erreichen ist, wurden zusammen mit dem TMB die zusätzlichen Verfahrensschritte „Nasssieben“ und „Filtern“ entwickelt (AP 3 und AP 5) und apparatetechnisch umgesetzt. Mit Hilfe des Verfahrensschritts „Nasssieben“ kann der überwiegende Teil des Abrasivs zur Wiederverwendung abgetrennt werden, was den Sekundärabfall deutlich verringert. Es wurde ein rundes Sieb mit einer Maschenweite von 180 µm in einem drehbar gelagerten Gehäuse mit seitlichen Plexiglasgscheiben eingesetzt, um die grobe Kornfraktion abzutrennen. Das Siebgehäuse wird bei Durchführung des Verfahrensschritts „Nasssieben“ mittels selbstsperrender Steckkupplungen in den Kreislauf der MASK-Versuchsanlage eingebunden. Für den Verfahrensschritt „Filtern“ (zur Abtrennung kleiner Stahlpartikel und kleiner Abrasivbruchstücke, die nicht wiederverwendet werden können), wurde ein handelsübliches Beutelfiltergehäuse ausgewählt. Das Beutelfiltergehäuse kann mit Beutelfiltern unterschiedlicher Maschenweite (für erste Versuche wurden Beutelfilter mit 1 µm und 100 µm Maschenweite beschafft) bestückt werden. Das Beutelfiltergehäuse wird über Kamlock-Kupplungen mit dem Kreislauf verbunden. Die Fließbilder für die zusätzlichen Betriebsarten wurden erstellt und die entsprechenden Kapitel in der Bedienungsanleitung angelegt. Der Koppelbehälter und der Probensammler wurden detailliert geplant und werden zur Zeit gefertigt. Das Magnetfiltersystem wurde konstruiert und gefertigt. Die beiden Magnetreste wurden zwischen Plexiglasrohren (zur Beobachtung und Optimierung) eingebaut. Am höchsten Punkt des Magnetfiltersystems wurde eine absperrbare Entlüftungsleitung, die zum Rührbehälter führt, installiert sowie ein Differenzdruckmanometer zur Überwachung des Betriebsdrucks. Nach Funktionsprüfung und Inbetriebnahme der Druckluftversorgung (AP 6) wurde der Rührbehälter mit ca. 60 Litern destilliertem Wasser befüllt und die ersten Einzelkomponententests mit Dichtheitsprüfungen für die Doppelmanbranpumpe, den Pulsationsdämpfer, das Rohrleitungssystem, die Handarmaturen, die Kupplungssysteme, das Magnetfiltersystem, das Sieb und den Beutelfilter durchgeführt. Undichtigkeiten wurden am Magnetfilter und dem Siebgehäuse festgestellt und beseitigt. Es wurden Förderkurven in Abhängigkeit des eingespeisten Luftvolumenstroms und eingestellten Betriebsdrucks für die Doppelmanbranpumpe aufgenommen. Mit der Doppelmanbranpumpe konnte der geplante Fördervolumenstrom im Bereich von 3 bis 20 Litern pro Minute bei kleinster eingestellter Leistungsstufe (vier Stufen sind einstellbar) sicher erreicht werden. Durch Zuschaltung des Pulsationsdämpfers konnte der stark pulsierende Förderstrom deutlich gedämpft werden (visuelle Beobachtung). Zur ersten Funktionsprüfung des Rührers, des Siebs und des Beutelfilters wurden ca. 1,5 kg Abrasiv 80 HPX in den Rührbehälter eingefüllt. Mit dem Rührer konnte eine Suspension hergestellt werden und die Abrasivpartikel über das Sieb und den 1 µm Beutelfilter vollständig abgerennt werden (bisher nur visuelle Bewertung). Beim Anfahren der Anlage konnten sogar Spuren von Stahlpartikel, die aus der Fertigung und Montage der Anlage

stammen, an den Extraktorrohren des Magnetfiltersystems abgetrennt werden was dessen gute Funktionsfähigkeit veranschaulicht.

#### **4. Geplante Weiterarbeit** (mit Referenz zu den Arbeitspaketen)

Im zweiten Halbjahr 2018 sind vom INE gemeinsame Weiterarbeiten mit dem TMB zu AP 3, AP 4, AP 5 und AP 6 geplant.

- Einbau und Funktionsprüfung für die Komponenten Koppelbehälter und Probensammler (AP 6).
- Ermittlung der Spülwassermenge zur Rückspülung des Magnetfiltersystems (AP 6)
- Verbundtest mit Abrasiv 80 HPX für alle Komponenten der MASK-Versuchsanlage AP 4)
- Ermittlung der Auswirkungen des Pulsationsdämpfers auf den Betrieb bzw. die Betriebsarten der MASK-Versuchsanlage AP 6)
- Festlegung der Betriebsphasen für den Betrieb des Pulsationsdämpfers (AP 5)
- Durchführung eventuell notwendiger Änderungen auf Grund der Ergebnisse aus den Verbundtests mit Wasser und Abrasiv 80 HPX (AP 3).
- Erste Versuche mit inaktiven austenitischen Korngemischen zur Ermittlung der Betriebsparameter für die einzelnen Prozessschritte (AP 5). Proben aus Separationsversuchen werden chemisch und mikroskopisch am INE analysiert (AP 2).

Begleitend wird an der Betriebsanleitung für die MASK-Versuchsanlage weitergearbeitet.

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

keine

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

„Vorstellung eines Magnetfiltersystems zur Behandlung von Sekundärabfällen der Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidtechnik“, Vortrag, Jahrestagung Kerntechnik (AMNT 2018), Berlin, 29.-30.05.2018

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<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:</b> Dr. Thomas Bücherl	<b>E-Mail-Adresse des Projektleiters:</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

Die im Rahmen des Vorhabens bislang entwickelten Verfahren zur Extraktion der verschiedenen Bestandteile eines Gamma-Spektrums wurden auf gemessene Spektren angewandt (AP 2) und die Ergebnisse der synthetisierten Spektren (AP 4) mit den gemessenen Spektren verglichen. Hierfür wurden gut spezifizierte Punkt- und Volumenquellen als Strahler eingesetzt (AP 6). Die Messungen wurden für unterschiedliche Messzeiten wiederholt, um Daten für die Untersuchung des Einflusses der Messstatistik auf die Extraktionsvorgänge untersuchen zu können.

Die Ergebnisse der Vergleiche gaben Hinweise auf Verbesserungs- und Optimierungsschritte einzelner Teilroutinen sowie auf weitere Ergänzungen (AP 3). Ein Beispiel für eine durchgeführte Erweiterung ist die nunmehr implementierte Berücksichtigung der Mehrfach-Compton-Streuung. Deren Beiträge können für Gamma-Linien über 1 MeV zu signifikanten Anteilen im Spektrum auf

der höherenergetischen Seite der zugehörigen Compton-Kante führen. Sie entstehen, wenn ein an einem Elektron bereits gestreutes Gamma-Quant wiederholt gestreut wird. Mit höheren Energien des eintreffenden Gamma-Quants ist dessen mehrfache Streuung wahrscheinlicher. Hierfür wurde ein Modell [1, 2] implementiert, dessen Parameter aus Spektren von Kalibrationsmessungen verschiedener Radionuklide mit einem Germanium-Detektor bestimmt werden. Das Modell ist aus einer Anzahl verschiedener theoretischer und empirischer Anteile aufgebaut, welche die unterschiedlichen Beiträge zur Mehrfach-Compton-Streuung beschreiben. Die Beiträge der einzelnen Anteile werden durch eine Vielzahl von zum Teil voneinander abhängigen Parametern beschrieben. Diese Abhängigkeiten erlauben keine unabhängige Parameterbestimmung, sondern müssen über Anpassungsrechnungen bestimmt werden. Hierfür wurden verschiedene Optimierungsverfahren untersucht. Jede Optimierungsmethode versucht ausgehend von vorgegebenen, den nächstbesten Parameter zu finden, der die gegebene Funktion optimiert. Dies erfolgt iterativ mit der Zielsetzung, den optimalen Parametersatz zu erhalten. Zunächst wurden zu diesem Zweck Gradienten-orientierte Optimierungsverfahren eingesetzt, wie zum Beispiel die Levenberg-Marquart-Methode. Es zeigte sich, dass diese Methoden meist zu stabilen Lösungen führen, diese aber nicht in jedem Fall einem globalen, sondern oftmals nur lokalen Optima entsprechen. Abhängig von den Startwerten können sich somit unterschiedliche Lösungen ausbilden. Der Grund hierfür liegt bei der Gradienten-basierten Optimierung in der hohen Wahrscheinlichkeit, dass die Algorithmen bei der Parametervariation in lokalen Minima oder Maxima hängen bleiben. Dies liegt daran, dass der Gradient bei allen lokalen Extrema gleich Null ist und daher der Unterschied zwischen dem aktuellen und dem berechneten neuen Parameterwert ebenfalls Null ist. Gradienten-freie Methoden, auch stochastische Optimierungsmethoden genannt, sind frei von derartigen Problemen. Die stochastische Schätzung geht von der Minimierung einer objektiven Funktion aus, die die Form einer Summe hat. Zur Minimierung des erforderlichen Rechenaufwands dieser iterativen Methode wird bei jedem iterativen Schritt nur eine Teilmenge der Summanden berücksichtigt. Die Reihenfolge, in der die Berücksichtigung der einzelnen Teilmengen bei dieser stochastischen Gradientenabfall-Rechnung ausgeführt wird, folgt einer vorgegebenen Systematik. Hierdurch wird in einem größeren Bereich in der Umgebung der Startwerte nach einer Lösung für das Optimierungsproblem gesucht. Verschiedene Ansätze dieser Methode werden unter dem Aspekt der numerischen Stabilität untersucht.

Mit den oben beschriebenen Arbeiten wurde das Arbeitspaket AP3 abgeschlossen. Es besteht nunmehr u. a. aus folgenden Teilmodulen: Simulation der Photopeaks inklusive exponentieller Flanken auf der niederenergetischen Seite, Compton-Kontinuum der einfach und mehrfach gestreuten Gamma-Quanten. Weitere Module berücksichtigen die energieabhängige Effizienz des eingesetzten Detektorsystems sowie die Abschwächung der Gamma-Strahlung durch mögliche Absorber zwischen Quelle und Detektor. Der Möglichkeit einer einfachen Erweiterung mit zusätzlicher Funktionalität wurde durch den modularen Aufbau Rechnung getragen.

Die Erarbeitung von Methoden zur Identifizierung der Beta-Strahler anhand der im Spektrum enthaltenen Bremsstrahlungsanteile (AP 5) wurde durch die Analyse von Messspektren weitergeführt. Dies beinhaltet u. a. die Anpassung der theoretischen Funktionen zur Beschreibung des Bremsstrahlungsspektrums an das Messspektrum mit dem bereits für die Bestimmung der Parameter der Mehrfach-Compton-Streuung eingesetzten Optimierungsverfahren (s. o.). Obwohl die Funktionen aus wenigen Summanden bestehen und ein Gradienten-orientiertes Optimierungsverfahren meist ebenfalls zu guten Ergebnissen führt, scheinen Gradienten-freie Optimierungsverfahren eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit für das Erreichen der globalen Lösung aufzuweisen.

[1] Lee et al.: Extension of the semiempirical Germanium detector response function to low energy gamma rays. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. Vol. 1987, No. A262 (1987) pp. 430–438.

[2] Jin et al.: A semi-empirical model for the gamma-ray response function of germanium detectors based on fundamental interaction mechanisms. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A. Vol. 242, No. 3 (1986) pp. 416–426.

#### **4. Geplante Weiterarbeit**

Im kommenden Berichtszeitraum werden die Arbeiten zu den restlichen Arbeitspaketen (AP 4 bis 9) abgeschlossen. Hauptaugenmerk liegt nunmehr auf der Analyse komplexerer Spektren für weitere Nuklide und Nuklidgemische in der Anwesenheit von Beta-Strahlern mit den entwickelten Methoden. Parallel hierzu werden die einzelnen Module in das bei RCM bestehende Analysepaket der mobilen Gamma-Scanner integriert und der Abschlussberichts erstellt.

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

keine

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

keine

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018		<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> 728.115,00 €	
<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.

In AP-4 (Charakterisierung) wurde Probenmaterial aus den Chemiezellen radiologisch charakterisiert. Auf der Grundlage der betrachteten Proben aus den Chemiezellen wird nach wie vor davon ausgegangen, dass der Großteil des Quecksilbers von den radioaktiven Verunreinigungen abgetrennt werden kann und für eine Freigabe gemäß § 29 Strahlenschutzverordnung in Frage kommt. Die radioaktiven Verunreinigungen konnten bislang ausschließlich in den auf dem Quecksilber aufschwimmenden Rückständen nachgewiesen werden. Im Rahmen des Kompetenzerhalts wurde am IEK-6 eine Bachelorarbeit durchgeführt, in der sich vor allem mit der Charakterisierung der Quecksilberabfälle auseinandergesetzt wurde. Die Bachelorarbeit ist inzwischen erfolgreich abgeschlossen (vgl. Abschnitt 6).

Die experimentellen Arbeiten zu AP 6 (Vergleich und Auswahl von Dekontaminationsverfahren) sowie AP 7 (Anwendung und Optimierung der Dekontaminationsverfahren) sind größtenteils abgeschlossen und werden derzeit abschließend zusammengefasst. Die Durchführbarkeit einer Dekontamination der Quecksilberabfälle im Labormaßstab anhand von mechanischer Abtrennung, mittels Waschen sowie Vakuumdestillation konnten gezeigt werden.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtszeitraum lag auf der Konzipierung und Entwicklung von Freigabemessungen (AP-8). Hierfür wurden vor allem Fortschritte erzielt bei der Modellierung, Validierung und Kalibrierung der Gamma-Detektoranlage für die Freigabemessungen (AP-8). Basierend auf MCNP-Simulationen wurde ein neuer geometrioptimierter Probenbehälter entworfen und gefertigt, der jetzt zum Einsatz kommt, um die Durchführbarkeit von Freigabemessungen für das dekontaminierte Quecksilber zu zeigen. Diese Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit zwischen AiNT und FZJ.

Aus Personalgründen haben sich weiterführende Arbeiten an AP-5 und AP-12 verzögert. Abgesehen davon befinden sich die Arbeiten innerhalb der Planungsvorgaben des Antrags.

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

Im zweiten Halbjahr 2018 sind vom IEK-6 schwerpunktmäßig Arbeiten zu AP-5 (Konversionsverfahren), AP-8 (Freigabemessungen) und AP-12 (Immobilisierung) geplant. Die Arbeiten in den anderen Arbeitspaketen sind schon weit fortgeschritten und stehen kurz vor dem Abschluss.

Es werden weiterhin Arbeiten durchgeführt zur Optimierung des Freigabeverfahrens für dekontaminiertes Quecksilber (AP-8), um auch dieses Arbeitspaket zeitnah abschließen zu können. In Zusammenarbeit mit AiNT wird noch die Kalibrierung der Detektoranlage hinsichtlich Photopeakeffizienzen abgeschlossen. Es soll an einer realen Quecksilberprobe aus den Chemiezellen demonstriert werden, dass die Dekontamination der Probe (Separation zwischen Quecksilber und radioaktiven Rückständen) erfolgreich durchgeführt werden kann und anschließend eine Freigabemessung für das dekontaminierte Quecksilber nach dem entwickelten Verfahren in Frage kommt.

Insbesondere wird innerhalb der kommenden Monate das AP-12 (Immobilisierung) behandelt. Hierbei wird allem die Einbettung der Rückstände in Zement und zementartige Materialien (Geopolymere) sowie das Auslaugverhalten bei Lösungszutritt unter Endlagerbedingungen untersucht. Diese Arbeiten gehen einher mit Untersuchungen zur Konversion von Quecksilber und quecksilberhaltigen radioaktiven Rückständen in schwerlösliche Verbindungen (AP-5).

## 5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keiner.

## 6. Berichte und Veröffentlichungen

- **N. Daniels, L. Klaß, A. Bukaemskiy, E. Petrova, A. Wilden, G. Modolo, D. Bosbach, Assessment of inventories and release behavior of some radionuclides from special nuclear wastes from decommissioning of nuclear facilities, Vortrag auf dem 8. RCA Workshop, Dresden, 12.-14. Juni 2018.**
- L. Klaß, P. Ritz, N. Daniels, A. Wilden, G. Modolo, D. Bosbach, M. Hirsch, J. Kettler, A. Havenith, Characterization Concept for the Disposal of Radioactively Contaminated Mercury Wastes from the Decommissioning of Nuclear Facilities, Vortrag auf der 18<sup>th</sup> Radiochemical Conference, Mariánské Lázně, 13.-18. Mai **2018**.
- L. Klaß, P. Ritz, N. Lieck, N. Daniels, A. Wilden, G. Modolo, D. Bosbach, A. Marcos Jiménez, M. Hirsch, J. Kettler, A. Havenith, Development of a Characterization Concept and Clearance Procedure for Radioactively Contaminated Mercury Wastes from the Decommissioning of Nuclear Facilities, Posterpräsentation auf der MARC XI conference, Kailua-Kona, 8.-13. April **2018**.
- P. Ritz, Radioactive mercury wastes from nuclear facilities: chemical separation, analytics and clearance measurements, Bachelor's Thesis, Fachhochschule Aachen, Campus Jülich, Jülich, **2018**.
- 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, Posterpräsentation auf der 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> 01.01.2018 bis 30.06.2018		<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9266B
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT)		
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> 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> 381.901,00 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

Das Arbeitspakete AP-3 wurde von AiNT abgeschlossen und dokumentiert. Die experimentellen Arbeiten in AP-4 und AP-6 sind größtenteils abgeschlossen und werden derzeit abschließend zusammengefasst. Die Durchführbarkeit einer Dekontamination der Quecksilberabfälle im Labormaßstab anhand von mechanischer Abtrennung, Waschen sowie Vakuumdestillation konnten gezeigt werden. Im Berichtszeitraum wurde seitens AiNT an den Arbeitspaketen AP-8, AP-9 und AP-10 gearbeitet.

Die Modellierung, der Betrieb und die Evaluierung der Messanlage für die Durchführung von Entscheidungsmessungen im Freigabeverfahren gemäß § 29 StrlSchV (alt) war ein Tätigkeitsschwerpunkt im Berichtszeitraum. Aufgrund der Novellierung der Rechtsvorschriften im Strahlenschutz haben sich für das Projekt relevante Freigabewerte geändert. Gemäß der alten StrlSchV betrug der massenspezifische Freigabewert für Cs-137+ für eine uneingeschränkte Freigabe von festen und flüssigen Stoffen 0,5 Bq/g. Ab dem 01. Januar 2019 gilt die neue StrlSchV, welche einen restriktiveren Wert von 0,1 Bq/g aufführt. Durch diese administrative Änderung und die Erfordernisse nun 5-Mal sensitiver Cs-137 messen zu können, muss das Gesamtkonzept bzgl. dieser Änderung evaluiert werden. Hierfür wurde im Berichtszeitraum der Referentenentwurf der neuen StrlSchV gelesen und deren Implikationen im Bezug zum Projekt PROMETEUS ausgewertet. Im Berichtszeitraum wurde durch probabilistische Simulationsstudien sowie durch experimentelle Messungen die Sensitivität der Messanlage gemäß der DIN ISO 11929 bestimmt. Basierend auf MCNP-Simulationen wurde ein neuer Probenbehälter entworfen und gefertigt und die Sensitivität der Messanlage für diesen Probenbehälter bestimmt. Diese Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit zwischen AiNT und FZJ.

Die Anforderungen des Freigabemessverfahrens mittels der entwickelten gammaspektrometrischen Messanlage, wurden im Berichtszeitraum in einen Ablaufplan dokumentiert (AP-9). Der Ablaufplan „Aktivitätsmessungen für die Freigabe von radioaktivem Quecksilber oder quecksilberhaltigen radioaktiven Reststoffen“, nebst zugehöriger Verfahrensbeschreibung, beschreibt alle Arbeits- und Prüfschritte, die der Entlassung von Reststoffkontingenten aus dem Regelungsbereich des Atomgesetzes dienen. Der Ablaufplan ist in die folgenden Arbeitsschritte unterteilt:

- Anmeldung der Freigabekampagne
- Eingangskontrolle und Erfassung von Eingangsdaten
- Probeentnahme und Festlegung Nuklidvektor
- Chargenbildung und -anmeldung
- Probenvorbereitung
- Durchführung von Entscheidungsmessungen
- Auswertung der gammaspektrometrischen Messung
- Vergleich der Messergebnisse mit Freigabewerten
- Entsorgung der freigegebenen Charge(n)

Der Ablaufplan und die Verfahrensbeschreibung sind notwendig für die Qualifizierung des Messverfahrens durch die atomrechtliche Aufsichtsbehörde. Die Qualifizierung des Messverfahrens ist nicht mehr Inhalt des öffentlich geförderten Projektes, sondern muss durch die Ablieferungspflichtigen erfolgen und die jeweiligen projektspezifischen Randbedingungen und die Spezifika der freizugebenden Abfälle berücksichtigen. Berücksichtigungsrelevante Randbedingungen sind zum Beispiel die Abfallmatrix, die chemische Verbindung in der das Quecksilber vorliegt und besonders der zu verwendende Probenbehälter, da die Berechnung von Erkennungs- und Nachweisgrenzen von diesen Randbedingungen abhängen.

Im Berichtszeitraum wurde damit begonnen, die konventionelle Entsorgung freigegebener Quecksilberkontingente zu analysieren (AP-10). Hierzu wurde Kontakt mit der Remondis QR GmbH in Dorsten hergestellt. Die Remondis QR GmbH ist grundsätzlich bereit freigegebene und aus dem Gültigkeitsbereich des AtG entlassene Reststoffe anzunehmen. Die Kosten betragen ca. 5000 Euro pro Tonne. Die Remondis QR GmbH weist darauf hin, dass es keine Nachnutzung für das Quecksilber gibt und es somit zwangsläufig in einer Untertagedeponie entsorgt wird. Eine hierfür notwendige Konvertierung in einen Feststoff könnte die Remondis QR GmbH ggf. ebenfalls durchführen. Der Kontakt zu Remondis QR wird im 2. Halbjahr 2018 seitens AiNT vertieft. Die Projektmitarbeiter von AiNT werden die Remondis QR GmbH inkl. des Geschäftsführers besuchen.

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

Im zweiten Halbjahr 2018 werden die Arbeitspakete AP-8, AP-9 und AP-10 weiterbearbeitet. Mit Arbeitspaket AP-11 wird neu begonnen werden. Innerhalb von AP-11 wird ein Ablaufplan für die Konditionierung der Dekontaminationsrückstände erstellt und dieser Ablaufplan durch eine begleitende Verfahrensbeschreibung beschrieben. Die Zielstellung dieses Ablaufplans ist es, die Dekontaminationsrückstände bzw. nicht freigegebener Reststoffe endlagergerecht zu konditionieren, um diese in die Schachtanlage Konrad zu verbringen.

#### **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>

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9400
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Brenk Systemplanung GmbH, Heider-Hof-Weg 23, 52080 Aachen	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Automatisierte, rechnergestützte Verpackungsplanung zur Reduzierung der Massen und Volumina der Abfallgebände für das Endlager Konrad	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2017 bis 31.10.2019	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 258.244,13 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Dr. Jörg Kaulard	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> J.Kaulard@brenk.com

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Im kerntechnischen Bereich haben computerbasierte Optimierungsmethoden – mit Ausnahme der kostenminimalen Terminplanermittlung – bislang kaum Beachtung gefunden. Die wenigen Referenzen hinsichtlich Optimierung beziehen sich entweder auf eine mechanische Optimierung (etwa durch Schnittführung) oder auf eine Optimierung einer Behältervorauswahl durch die Methoden des Integer Linear Programming (ILP, ganzzahlige lineare Optimierung). Auf der anderen Seite werden in anderen konventionellen Bereichen – der Logistik, der Verpackungsindustrie und der Informationstechnologie – deutlich fortgeschrittenere Verfahren angewandt, die weiterentwickelt werden.

Das vorliegende Vorhaben untersucht, wie einige dieser bereits vorhandenen Methoden auf die Planung der Verpackung von beim Rückbau von Kernkraftwerken anfallenden radioaktiven Abfälle und auf die Endlagerung angewandt werden können, um im Vergleich zu einer manuellen, herkömmlichen Verpackungsplanung Kosten und Volumina einzusparen. Ziel ist es hierbei, vorhandene Algorithmen aus dem Bereich der Bedingungserfüllung (Constraint Satisfaction Problem, CSP) zur Kosten- und Volumensenkung auf sich bei der Verpackung und Lagerung radioaktiver Abfälle ergebende Probleme anzuwenden, ggf. anzupassen sowie optimale Parameter dieser Algorithmen zu identifizieren. Dies erfolgt durch Anwendung der Algorithmen auf realistische, in kerntechnischen Anlagen vorhandene Verpackungsprobleme.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Aufgrund der Komplexität und der Neuheit des Verfahrens in der Kerntechnik wird die Zielsetzung des Vorhabens in drei Arbeitspaketen (AP), die aufeinander aufbauen, verfolgt:

AP 1 *Rechnergestützte Berechnung von optimalen Verpackungslösungen anhand bereits abgeschlossener oder geplanter Abfallkampagnen und Identifizierung optimaler Algorithmen und deren Parameter*

Es werden Verpackungsplanungen zu bis zu vier realen, bereits durchgeführten oder im Detail geplanten Abfallkampagnen mithilfe von Lösungsalgorithmen für CSPs berechnet. Für die Bereitstellung hierfür benötigter Daten liegt die Bereitschaft einiger Betreiber kerntechnischer Anlagen bereits vor.

**AP 2** *Vergleich manueller Lösungen mit den rechnergestützten Lösungen und quantitative Ermittlung der Kostenersparnis*

Nach Abschluss der Modellierung, der Validierung und der Berechnung optimaler Verpackungslösungen auf Grundlage der bereitgestellten Daten werden die berechneten Lösungen mit den existierenden Verpackungsplanungen, zu denen die Daten für AP 1 bereitgestellt wurden, verglichen. Insbesondere werden hierbei die Zielkosten erfasst und unter möglichst gleichen Voraussetzungen miteinander verglichen. Die Ergebnisse des Vergleichs werden in einem Bericht zusammengestellt.

Für den Fall, dass die Einsparungen bezogen auf die manuelle Verpackungsermittlung für keinen der betrachteten Fälle ausreichend sind, um den Aufwand einer numerischen Optimierung zu rechtfertigen, wird das Vorhaben mit diesem Arbeitspunkt abgeschlossen.

**AP 3** *Berechnung von Verpackungslösungen für noch nicht erfolgte Abfallkampagnen und Identifizierung optimaler Algorithmen und deren Parameter*

Es werden Verpackungsplanungen für Rückbaugewerke in kerntechnischen Anlagen, für die noch keine Verpackungsplanungen vorliegen, anhand der erarbeiteten Algorithmen erstellt.

Die Ergebnisse des Vorhabens werden in einem Abschlussbericht zusammengestellt.

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

AP 1 Im Rahmen des AP 1 wurden erste Arbeiten durchgeführt und die Kontakte zu unterstützenden Organisationen intensiviert. Die Simulation einer ersten Verpackungsplanung für eine Abfallkampagne wurde begonnen, konnte aber noch nicht abgeschlossen werden. Die Arbeiten zu weiteren Abfallkampagnen wurden noch nicht begonnen. Ergebnisse des AP 1 liegen noch nicht vor.

AP 2 Der Beginn des AP 2 hat sich verzögert, da benötigte Daten aus AP 1 noch nicht vorliegen.

AP 3 Gemäß Arbeitsprogramm sind noch keine Arbeiten vorgesehen.

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

AP 1 Die im 1. HJ/2018 begonnenen bzw. fortgeführten Arbeiten werden fortgesetzt. Insbesondere werden die Berechnungen für bis zu vier reale Abfallkampagnen durchgeführt.

AP 2 Durchführung erster vorläufiger Vergleiche, sobald Zwischenergebnisse aus AP 1 vorliegen.

AP 3 Gemäß Arbeitsprogramm sind keine Arbeiten vorgesehen.

**5. Bezug zu anderen Vorhaben**

Es besteht kein Bezug zu weiteren Fördervorhaben.

**6. Berichte und Veröffentlichungen**

Keine.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<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 AP)

Die physiko-chemischen Substratuntersuchungen auf den Testflächen Gessenwiese (GW) und Kanigsberg (KB) wurden orts aufgelöst weitergeführt. Weiterhin erfolgte die Durchführung der sequentiellen Extraktion zur Bestimmung der bioverfügbaren R/SM-Gehalte (**AP2**). Die hierbei erkennbaren *hot spots* (R/SM-Gehalte, pH-Werte, elektrische Leitfähigkeiten (LF)) auf der Gessenwiese wurden dabei bestätigt und am Kanigsberg neue *hot spots* ausgehalten.

Die Bonitur der gepflanzten Bäume sowie die Probenahmen von kleinen Zweigen wurden wie geplant durchgeführt. Besonders die Erlen sind sehr gut gewachsen (**AP3**). Die R/SM-Gehalte der Erlen unterschreiten die für Kurzumtriebsplantagen gültigen Grenzwerte der Altholzverordnung (AltholzV 2013) und der DIN EN 14961-2 2011, so dass einer Verwertung der Biomasse nichts entgegensteht. Die mikrobiellen Behandlungen zeigten erwartungsgemäß einen geringeren Einfluss auf die SM/R-Gehalte in der Biomasse, während das Wachstum besonders auf den nicht mit Rendzina beaufschlagten Flächen positiv beeinflusst wird. Mikrokosmen und Gefäßversuche zur Inokulation wurden unterstützend durchgeführt (**AP4**).

Die im Berichtszeitraum wiederholt durchgeführte hydrochemische Stichtagsbeprobung der Boden- und Sickerwässer (**AP2,6**) bestätigte die Reduzierung der Konzentrationen der Seltenen Erden Elemente als Analoga für dreiwertige Actinide um bis zu 3 Größenordnungen in der Wasserphase für die mit Rendzina behandelten Substrate, die Konzentrationen von Cs wurden unter die Nachweisgrenze abgesenkt.

Die Mikrobiomanalysen wurden für Pilze sowie Bacteria/Archaea durchgeführt und bioinformatisch ausgewertet. Lebendzellzahlen (mit hohem Probenaufkommen,  $n > 1000$ ) wurden zum Vergleich mitgeführt und hier vor und nach der Inokulation verglichen (**AP 9**). Hierbei konnten auch pH-Werte, LF und die bioverfügbaren R/SM-Gehalte direkt in der Rhizosphäre (um den Einfluss der Besiedlung der Mykorrhizosphäre mit Mikroorganismen-Populationen zu zeigen) bestimmt werden. Die pH-Werte in der Rhizosphäre sind beispielsweise erhöht.

Chlorophyllfluoreszenz als Parameter der Pflanzenvitalität wurde für alle Baumindividuen mit Dreifachmessungen auf der Gessenwiese bestimmt (**AP5**). Hier konnten nur leichte Unterschiede festgestellt werden, die insbesondere die Behandlung mit 20 % Rendzina als weniger förderlich ausweisen. Dies korreliert gut mit den Daten des Wachstums der Bäume.

Die Promovierenden im Projekt wurden in Programmen der Graduiertenakademie Jena weiterqualifiziert und es erfolgte die Einbindung und Betreuung mehrerer Abschlussarbeiten für Studierende.

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

Die Auswertung der in 2017 gewonnenen Daten zur Erosionsermittlung (ArcGIS) sowie zum Monitoring der Pflanzenparameter wird nach der abschließenden Befliegung zum Ende der Vegetationsperiode 2018 abgeschlossen (**AP8**). Des Weiteren wird die hydrochemische Charakterisierung der Boden-, Sicker- und Grundwässer zur Ermittlung des SM/R-Freisetzungspotentials im System Boden-Wasser abgeschlossen (**AP6**). Die Messung sowie detaillierte Auswertung der Pflanzengehalte, Extraktions- und Sequenzierungsergebnisse wird zum Abschluss gebracht (**AP9**).

### 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

- Ackermann, S. (2018): Analytische Charakterisierung von Pflanzenproben auf dem Testfeld Gessenwiese, Ronneburg. Projektmodulbericht, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Beimel, J. (2018): Mykorrhizapilze: Identifizierung, Stammhaltung und Transformation. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Carl, N. (2018): Glutathion-S-Transferasen und Adaption unter Schwermetallstress bei *Tricholoma vaccinum*. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Gellert, J. (2018): Phytoremediation mit den schnellwachsenden Baumarten Pappel, Weide und Robinie auf schwermetallkontaminiertem Substrat. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Grawunder, A., Lonschinski, M., Händel, M., Wagner, S., Merten, D., Mirgorodsky, D. & G. Büchel (2018): Rare earth element patterns as process indicators at the water-solid interface of a post-mining area. *Appl. Geochem.* 96, 138-154.
- Kirtzel, J., Scherwietes, E.L., Merten, D., Krause, K., Kothe, E. (2018): Metal release and sequestration from black slate mediated by a laccase of *Schizophyllum commune*. *Environ. Sci. Pollut. Res.* doi: 10.1007/s11356-018-2568-z. [Epub ahead of print]
- Krause, R. (2018): Vegetationscharakterisierung und Schwermetall-Transfer im System Boden-Pflanze auf den Testfeldern „Gessenwiese“ und „Kanigsberg“ im ehemaligen Uranbergbaugebiet Ronneburg (Ostthüringen), Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Krauße, T., Schütze, E., Phieler, R., Fürst, D., Merten, D., Büchel, G., Kothe, E. (2018): Changes in element availability induced by sterilization in heavy metal contaminated substrates: A comprehensive study. *J. Hazard. Mater.* pii: S0304-3894(17)30830-0. doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.11.008. [Epub ahead of print]
- Männel, A.-T., Grawunder, A., Mirgorodsky, D., Merten, D. & G. Büchel G. (2018): Influence of rendzina amendment on metal mobility in mining affected immature soil, Ronneburg, Germany. *Geophys. Res. Abstr.* 20, EGU2018-840, April 8-12, Vienna.
- Stelzner, V. (2018): Analytische Charakterisierung von Pflanzenproben auf dem Testfeld Kanigsberg, Ronneburger Revier, Projektmodulbericht, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Ziethel, J. (2018): Einfluss bodenverbessernder Maßnahmen auf die Vitalität und den Biomassezuwachs von Bäumen einer Kurzumtriebsplantage am Standort „Gessenwiese“. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<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> Dr. 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 tieferliegendem 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 (Uranaufnahme 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 Pilzkörpers
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

Die Arbeiten des VKTA zum AP 2.2, 2.3 und AP 7.1 wurden auch in diesem Berichtszeitraum begleitet und unterstützt, damit wichtige mikrobiologische Aspekte bei den Arbeiten berücksichtigt werden.

**AP 2.4 Fixierung Pilzkörper:** Im vorrangigen Berichtszeitraum abgeschlossen

**AP 6.4 Radionuklidspeziation in Böden:** Es wurden weitere Versuche zum Sekretionsverhalten der Pilze durchgeführt, um eine Identifizierung der sekretierten Stoffe vorzunehmen. Auf Grund der geringen Signalintensitäten wurde eine Methodenentwicklung begonnen, um auch sekretierte Peptidverbindungen aufzutrennen und anschließend mit dem Fraktionsammler zu sammeln. Die neue Methode zeigt, dass es bei Anwesenheit von Uran zu einer deutlichen Veränderung der Signalintensitäten der sekretierten Metabolite von *S. commune* kommt.

**AP 7.2 Radionuklidbilanzierung Boden-Pilz:** In den vorangegangenen Arbeiten konnte bei *L. naucinus* ein Einfluss des Bodenextraktes auf die Europiumbindung beobachtet werden. Daher wurde zunächst der pH-Wert des Minimalmediums an den des Bodenextraktes angepasst. Die Ergebnisse zeigen, dass der pH-Wert keinen Einfluss auf die Menge an gebundenem Europium hat. Anschließend wurde die organische Zusammensetzung des Mineralmedium variiert. Dabei zeigt *S. commune* eine abnehmende Bindungskapazität für alle Metalle mit zunehmendem organischem Anteil im Medium. Demgegenüber erhöht sich bei *L. naucinus* in Gegenwart von Asparaginsäure, Thiamin-Hydrochlorid und Tryptophan die Menge an gebundenem Europium, von unter 10 % im Minimalmedium auf 96 %. Jedoch zeigen die organischen Substanzen keinen signifikanten Einfluss auf die Bindung der anderen Metalle.

Weiterhin wurden TEM-EDX Aufnahmen gemacht, die zeigen, dass die Radionuklidbindung durch Pilze auf unterschiedlichen Wegen erfolgt. Bei *S. commune* kommt es zu einer Bildung von nadelförmigen Uranmineralen, die sowohl innerhalb der Zelle als auch an der Zellwand zu finden sind. Bei *L. naucinus* erfolgt eine Bindung ausschließlich an den Zellmembranen.

**AP 7.3 Speziationsuntersuchung Boden-Pilz:** Die bisher durchgeführten zeitaufgelösten laserfluoreszenzspektroskopischen Messungen (=TRLFS Messungen) zeigten, dass eine Bindung des Urans an die Pilzbiomasse erfolgte. Jedoch war eine Zuordnung der erhaltenen U(VI)-Emissionssignale zu fluoreszenzspektroskopischen Daten bekannter U(VI)-Komplexe bisher nicht möglich, da diese Daten bei Messungen in anderen Medien sowie bei anderen Messbedingungen erhalten wurden. Daher war es notwendig, ausgewählte organische und anorganische U(VI)-Modellkomplexe, die sich bei der Bindung des Metalls an der Pilzbiomasse bilden können, im verwendeten Medium und unter den gleichen Messbedingungen mit Hilfe der TRLFS zu untersuchen. Die erhaltenen Spektren werden derzeit ausgewertet.

**AP 11.3 Transport des Metalls in der Hyphe:** Mit Hilfe der konfokalen Laser-Scanning-Mikroskopie (CLSM) konnten bei Tieftemperaturen sowohl Fluoreszenzbilder als auch punktuelle Spektren der uranbelasteten Pilze aufgenommen werden und somit eine gleichmäßige Verteilung des Urans an der Hyphenoberfläche beobachtet werden. Die CLSM-Spektren von *S. commune* ähneln stark den Spektren der reinen TRLFS Messungen, jedoch zeigen sich *L. naucinus* betreffend deutliche Unterschiede zwischen den Spektren. Grund dafür kann eine inhomogene Radionuklidspeziation auf der Zelloberfläche sein.

Für die Transportuntersuchungen sollten die auf Deckgläschen kultivierten Hyphen einseitig mit Uran kontaminiert und anschließend mit Hilfe der CLSM untersucht werden. Jedoch konnte trotz mehrfacher sowie unterschiedlicher experimenteller Durchführungen kein erfolversprechender Versuchsaufbau gefunden werden. Daher wurde das Konzept zur Untersuchung des Radionuklidtransportes in den Pilzhyphen umgestellt. FSU stellte einen vielversprechenden Versuchsaufbau („Mikrokosmen“) vor, bei dem die Pilzbiomasse auf den Boden aufgelegt wird. Um einen direkten Kontakt und dadurch eine Sorption an der Zellwand zu vermeiden, erfolgte

eine räumliche Trennung mit Hilfe eines Nylonnetzes und einem Wattepad. Anschließend erfolgte eine Inkubation über 6 Wochen. In dieser Zeit konnte der Pilz durch die Nylonmembran und das Wattepad bis in den Boden wachsen. Durch die in den Boden gewachsenen Hyphen erfolgte nun ein Kontakt mit den darin enthaltenen Radionukliden. Nach der Inkubationszeit wurde die aufgelegte Pilzbiomasse, welche keinen direkten Kontakt mit dem Boden hatte, abgenommen und mit Hilfe eines Mikrowellenaufschlusses mit anschließender ICP-MS Analyse untersucht. Für die Untersuchung des Transports von Metallen und Radionukliden in den Hyphen wurden außerdem einige Anpassungen im Versuchsaufbau (unterschiedlich eingesetzte Medien, längere Inkubationszeiten) vorgenommen. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass Uran und zu geringen Anteilen Strontium und Europium in der oberen Biomasse von *S. commune* zu finden war. Bei dem Pilz *L. naucinus* war der Gehalt dieser Metalle wesentlich geringer oder sogar unterhalb der Nachweisgrenze.

Das **AP 9.4. zur Speziationsuntersuchung in Boden und Pflanze** betreffend deuten die erhaltenen Ergebnisse aus Labor- und Freilandexperimenten an, dass es sich bei der Pilz-Radionuklid-Wechselwirkung um einen mehrphasigen Prozess handelt (Mobilisierung gefolgt von Festlegung) und damit unterschiedliche Pflanzen-verfügbare Spezies vorliegen.

**AP 13.3 Untersuchung der Bodendurchdringung durch den Pilz:** Es wurden unterschiedliche kommerziell erhältliche Kits zur Extraktion von DNA aus dem Boden getestet. Jedoch konnte bisher mit keiner Methode Pilz-DNA aus den Bodenproben gewonnen werden.

#### 4. Geplante Weiterarbeit

Mit Hilfe der neuentwickelten Methode zur Fraktionierung der sekretierten Metabolite soll in dem kommenden Berichtszeitraum eine Analyse der interessanten Fraktionen mit unterschiedlichen Methoden, z.B. NMR, IR oder MS erfolgen, um den Einfluss dieser Metabolite auf die Speziation der Metalle im Boden einschätzen zu können (**AP 6.4**). Weiterhin sollen mit Hilfe von Dr. Alix Günther Eu(III)-Speziationsuntersuchungen für das **AP 7.3** durchgeführt werden, um die Uranbindung an die Pilze mit anderen Radionukliden vergleichen zu können. Über parallele Faktoranalyse (PARAFAC) sollen außerdem die dominierenden Uran-Spezies aus den Uran-Spektren identifiziert werden. Weiterhin ist geplant die Mikrokosmenversuche zu wiederholen, um eine statistische Aussage zu den Bindungseigenschaften des Pilzes unter naturnahen Bedingungen zu bekommen. Dabei wird zum einen die Radionuklidbilanzierung Boden/Pilz (**AP 7.2**) durchgeführt und zum anderen der Transport innerhalb des Myzels (**AP11.3**) untersucht. Weiterhin sollen Speziationsuntersuchungen mit Hilfe der TRLFS (**AP 7.3**) durchgeführt werden. In Kombination der APs 6.4 und 7.3 sowie den HPLC Untersuchungen und einer zeitlich versetzten Bepflanzung, bezogen auf die Beimpfung des Bodens mit dem Pilz, soll in **AP 9.4** oben genannte Arbeitshypothese überprüft werden. Das **AP 13.3** betreffend, wird eine Kollegin über einen Gastaufenthalt an der FSU Jena die dort etablierte Methode zur Pilz-DNA-Isolierung aus Boden erlernen und am HZDR etablieren.

#### 5. Bezug zu anderen Vorhaben

-

## 6. Berichte und Veröffentlichungen

A. Wollenberg, S. Großmann, A. Günther, J. Raff, T. Stumpf: Comparison of radionuclide association of fungi under laboratory and natural conditions. 8th RCA-Workshop, 12.-14. Juni 2018, Dresden, Deutschland (Poster)

J. Raff: Radio-ecological research – recent results and their application. BioGeo-Colloquium, 19.06.2018, Jena, Deutschland (eingeladener Vortrag)

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9276B
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> Verbundprojekt des Potenzials: Untersuchung 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, stabile 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)

**AP6 Beschaffung/Charakterisierung kontaminierter Böden + AP8 Radionuklid-Analytik für Pilzuntersuchungen:** Der kontaminierte Boden aus einem VKTA-Sanierungsprojekt, welcher bereits im Vorhalbjahr sortiert und abgepackt wurde (in vier 60 L Fässer), wurde nun auf Sr-90 und auf Gammastrahler analysiert. Die radiochemische Kontamination besteht zum größten Teil aus Strontium-90 (8-16 Bq/g) und deutlich geringeren Anteilen von gammaemittierenden Radionukliden (z.B. 2-6 mBq/g Cäsium-137). Ein Teil des kontaminierten Bodens wurde an die Projektpartner vom IRS (Hannover) für deren Versuche übergeben. (AP6)

**AP7 Säulenversuche zum RN-Transfer Boden-Pilzmycel + AP8 Radionuklid-Analytik für Pilzuntersuchungen:**

- Es wurde für alle Bodenscheiben der zwei Säulen aus Säulenversuch Nr. 2+3 eine sequentielle Extraktion nach Vorbild von Zeien und Brümmer (1986) in modifizierter Form angefangen. Die ersten fünf Extraktionsschritte (von insgesamt sieben) wurden fertiggestellt und mittels ICP-MS analysiert. Insgesamt zeigt sich eine stärkere Rückhaltung in der obersten Schicht der Säule mit dem Pilz *S. commune* im Gegensatz zur Referenzsäule ohne Pilz. (AP7)
- Die erneuten Säulenversuche (Nr. 4+5), welche auf ähnliche Weise nur ohne Zusatz von Glaskugeln angesetzt wurden, wurden Anfang des Jahres mit Tracerlösungen von stabilen Cs und Sr beregnet. Nach Tracerzugabe wurde noch 1½ Monate beregnet bevor die Säulen geöffnet wurden. Das Öffnen der Säulen geschah diesmal unter sterilen Bedingungen, um von jeder geschnittenen Bodenscheibe eine Probe für spätere DNA-Analysen (seitens der Kollegen vom HZDR) entnehmen zu können. Dies soll Aussagen über das Überleben und die Vitalität des Pilzes ermöglichen. Anschließend wurden die Bodenscheiben für weitere Analysenschritte vorbereitet (trocknen, sieben). (AP7)
- Es wurden außerdem weitere 3 Säulenversuche (Nr.: 6, 7 & 8) mit dem kontaminierten Boden aus einem VKTA-Sanierungsprojekt angesetzt. Dabei ist Säule Nr. 6 als Referenz anzusehen. In den anderen beiden Säulen wurde der eingebrachte Boden jeweils mit Biomasse von *S. commune* versetzt. Die Säulen werden zurzeit dreimal wöchentlich beregnet. Am unteren Ende herauslaufendes Wasser wird fraktioniert gesammelt und soll analysiert werden. (AP7)

**AP11 Pilzballenkultivierung:** Im Vorhalbjahr wurden bereits erste Versuche zum Transport in Fruchtkörper mit kommerziell erhältlichen Anzuchtboxen für Champignons durchgeführt. Da für diese leider nicht die idealen klimatischen Bedingungen im Überwachungsbereich zu erreichen sind (benötigen Temperaturen zwischen 15 – 18 °C), wurde eine neue Pilzart, für die ebenfalls kommerziell erhältliche Anzuchtboxen angeboten werden, ausgewählt. Die Pilzart „Braunkappe“, bzw. *Stropharia rugoso-annulata*, kann laut Anbieter bei Raumtemperaturen bis zu 24 °C kultiviert werden. Dies ermöglicht auch Versuche im Überwachungsbereich mit kontaminierten Böden. In der Literatur werden zu dieser Pilzart auch schon Akkumulationen von Metallen (wie z.B. Cu, Cd und Hg) beschrieben. Erste Versuchsboxen mit dieser Pilzart wurden angesetzt. Eine Zugabe von getracertem Boden ist jedoch erst in einigen Wochen nach verstärktem Mycelwachstum möglich. (AP11)

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

Folgende Arbeiten sind im zweiten Halbjahr 2018 geplant:

- Beenden der Schritte 6 und 7 der sequentiellen Extraktion der Bodenscheiben der Säulen 2+3.
- Die vorbereiteten Bodenscheiben der Säulen Nr.: 4+5 sollen weiter analysiert werden. Hierfür ist zunächst die Elution mit Wasser geplant. Anschließend soll auch hier die sequentielle Extraktion nach Vorbild von Zeien und Brümmer (1986) durchgeführt werden.
- Wenn die vorbereiteten „Braunkappe“-Pilzballen gut mit Mycel bewachsen sind werden zunächst mit stabilen Tracern (Cs, Sr und Cs+Sr) vorbereitete Böden darauf gegeben. Sollte das Pilzwachstum wie erwartet verlaufen, ist in einem weiteren Schritt geplant den kontaminierten Boden aus einem VKTA Sanierungsprojekt auf einen solchen Pilzballen zugeben.
- Weiterhin sind erste Versuche den in den Säulen verwendeten Pilz (*S. Commune*) ebenfalls als Fruchtkörper anzuziehen. Hierzu sind dieselben Bodenarten, wie sie in den Säulenversuchen verwendet wurden, angedacht.

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

keine

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

keine

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<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 myzelbildender 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 Myzelien 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-Pilzmyzel
- AP10 Bestimmung der mikrobiellen Diversität über 16S rDNA- bzw. ITS-Sequenzanalysen
- AP11 Untersuchung des Transfers von Radionukliden in die oberirdischen Fruchtkörper der Pilze
- 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 (Referenz zu AP)

- AP1: abgeschlossen
- AP2: Die Kultivierung wird je nach Bedarf fortgeführt
- AP7: Neue Säulenversuche wurden in Rossendorf begonnen. Die Mikrobiomanalysen werden je nach Bedarf weiter durchgeführt. Diese werden gemeinsam ausgewertet.
- AP10: Primer für *S. commune* konnten mit hoher Spezifität entwickelt werden; für *L. naucinus* ist dies nach den Sequenzdaten der ITS-Region nicht möglich. Hier kann allenfalls auf Gattungs- oder auf Familienebene ein Nachweis erfolgen. Dazu wären aber weitere Vorarbeiten erforderlich. Die Arbeiten mit *L. naucinus* waren allerdings bisher in den allermeisten Fällen nicht zielführend. Daher soll sich im Weiteren auf *S. commune* konzentriert werden. Die Community-Analysen werden weitergeführt und DNA-Extraktion mit HZDR etabliert.
- AP11: Pilzkulturen wurden mit den Projektpartnern angelegt. Das System zur Analyse des Myzels aus Boden wurde in Rossendorf weiterentwickelt und verwendet. Der Transfer von SM/RN wird mit Cs, Sr, Cd und Pb auf Boden und in Flüssigmedium für *S. commune* näher analysiert und transkribierte Gene analysiert, um die Beteiligung verschiedener Stoffwechselwege einschätzen zu können.
- AP12: Die Testung von Pilzkompositmaterialien für die Aufreinigung von Wässern erfolgt unter Nutzung des Pilzwachstums in Myzelform in Form einer Studienabschlussarbeit.
- AP13: Der Boden aus Tschernobyl ist sandig mit sehr feiner Struktur und geringer Wasserführung. Daraus ergab sich ein relativ schlechtes Myzelwachstum. Daher müssen die Arbeiten zum Nachweis des Einflusses der Pilze im Testfeld durch ITS-Analysen dringend unterstützt werden. Im Feld konnte DNA trotz der schlechten Ausstattung des Eco-Centers präpariert und nach Jena transportiert werden. Diese wird nun auf Überlebensfähigkeit und Ausbreitung der Pilze hin ausgewertet.

### 4. Geplante Weiterarbeit (Referenz AP)

Die Säulenversuche sowie Inokulation in Topf- und Feldversuchen werden analysiert. Die Analysen der Böden ergaben, dass in Tschernobyl nur geringe Mengen bioverfügbarer SM/RN vorhanden sind und somit für Flüssigkulturen die Mengen aus einem anderen Boden übertragen werden. Ausstehende Arbeiten:

- AP7 Auswertung der neuen Säulenversuche (2. Versuchsreihe) zum Radionuklidtransfer Boden-Pilzmyzel
- AP10 Bestimmung der mikrobiellen Diversität über 16S rDNA- bzw. ITS-Sequenzanalysen kann mit den gewonnenen DNA-Proben durchgeführt werden. Hier soll *S. commune* bevorzugt werden, da die Versuche mit *L. naucinus* generell wenig erfolgversprechend ausgingen und Art-spezifische Primer nicht abgeleitet werden können.
- AP11 Weiterführung der Untersuchung des Transfers von Radionukliden in die oberirdischen Fruchtkörper von Pilzen bei VKTA mit neuen Pilzballen. Ein neues System mit Fruchtkörpern von *S. commune* auf Böden mit SM/RN wird etabliert.
- AP12 Beteiligung an der Konzipierung, Herstellung und Testung von Pilzkompositmaterialien: diese Arbeiten werden gegenwärtig analysiert um die Sinnhaftigkeit der Anwendung zu überdenken
- AP13 Beteiligung an Freilandversuch mit Pilzen, Pflanzen und Pilz+Pflanze; bestimmen der Nachhaltigkeit der Pilzinokulation aus DNA-Proben vom Testfeld

## **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**

Kirtzel J, Scherwietes EL, Merten D, Krause K, Kothe E (2018) Metal release and sequestration from black slate mediated by a laccase of *Schizophyllum commune*. *Environ Sci Pollut Res* doi: 10.1007/s11356-018-2568-z.

Carl N (2018) Glutathion-S-Transferasen und Adaption unter Schwermetallstress bei *Tricholoma vaccinum*. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 31.06.2018	<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 u.a.) 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, der 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 umfangreiche Kompetenz auf den Gebieten der Radioanalytik und orts aufgelösten Massenspektrometrie ein, um – neben der Beurteilung der Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens – umfangreiche 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

AP 3: Ein Übersichtsartikel zur Phytoremediation von Strontium mit dem Titel: „Radiostrontium contamination and its phytoremediation“ wurde bei einer wissenschaftlichen peer-review-Zeitschrift zur Publikation eingereicht und befindet sich unter Begutachtung.

AP 6.1: Im Zuge einer Exkursion im Mai in die Tschernobyl-Sperrzone wurde weiterer Boden zur Durchführung von Pflanzexperimenten in Klimaschränken beschafft (Unterboden, 20-30 cm Tiefe mit geringer Kontamination).

AP 6.3: Auf dem Versuchsfeld nahe Kopachi wurde ein Bodenprofil ergraben. Die Horizontierung lässt die Definition des Bodens als landwirtschaftlich genutzter ( $A_p$ -Horizont) Übergangstyp zwischen Podsol und Fahlerde zu, für den in der englischsprachigen Literatur der Begriff „soddy-podzolic soil“ üblich ist.

AP 6.4: Eine Masterarbeit wurde abgeschlossen mit dem Titel: „Untersuchungen zur Extrahierbarkeit von Radionukliden aus Bodenproben an einem Beispiel aus Tschernobyl“<sup>1</sup>.

AP 9: Die gammaspektrometrische Auswertung des Radionuklidtransfers in Kartoffelpflanzen aus Topfexperimenten unter Laborbedingungen (Cs-137 und Sr-85) wurde beendet. Die erzielten Ergebnisse in Bezug auf den Einfluss des Pilzeinsatzes deuten auf einen nur geringen Effekt auf diese beiden Elemente hin. Innerhalb eines 95%-Konfidenzintervalls ließen sich fast keine signifikanten Unterschiede in der Radionuklidaufnahme zwischen den beiden Pilz- und der Kontrollgruppe nachweisen. Jedoch war die Aufnahme von Radiocäsium in Blätter der Kartoffelpflanzen auf einem der drei Böden (VKTA) in der *Leucoagaricus*-Gruppe gegenüber der Kontrollgruppe signifikant reduziert. In den Kartoffelknollen auf selbigem Boden konnten noch keine statistisch sicheren Erkenntnisse gewonnen werden, da die Ernte auf diesem Boden zu schlecht ausfiel. Die Roggenpflanzen wurden geerntet, die Messungen mittels Gammaskpektrometrie werden zur Zeit durchgeführt.

AP 13.1: Der Winterroggen in Tschernobyl wurde geerntet (siehe Bild). Von allen drei Gruppen (S.C., L.N., ctrl) konnten ausreichend Pflanzen zur Bestimmung des Nuklidtransfers geerntet werden. Es wurden jeweils Bodenproben aus dem individuellen Wurzelbereich der einzelnen Pflanzenproben genommen, um der Heterogenität der Kontamination bei der Bestimmung der Transferfaktoren Rechnung zu tragen.

AP 13.2. Die Ergebnisse der Gamma-Messungen von Kartoffel- und Roggenproben aus der Tschernobyl Sperrzone vom Herbst 2017 zeigten keinen signifikanten Einfluss der Pilzinokulation auf die Aufnahme von Cs-137. Die Nuklide Am-241 und Eu-154 konnten im Boden bestimmt werden, lagen aber in den Pflanzenproben unterhalb der gammaspektrometrisch erreichten Nachweisgrenze, weshalb der Transfer für diese Nuklide bisher noch nicht bestimmt werden konnte. Weitere Arbeiten an diesem Problem sind geplant (siehe unten).



Abbildung 4: Bodenprofil, Testfeld nahe Tschernobyl



Abbildung 5: Roggenpflanzen in der Tschernobyl Sperrzone, Mai 2018

<sup>1</sup> [https://www.irs.uni-hannover.de/uploads/tx\\_tkpublikationen/mastvieb.pdf](https://www.irs.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikationen/mastvieb.pdf)

AP 13.3. Bei unserer Exkursion im Mai wurden durch unseren Partner FSU-Jena Bodenproben genommen und unter Mithilfe des SEAPGEM im EcoCentre-Labor vor Ort DNA-Extraktionen am Boden durchgeführt.

#### 4. Geplante Weiterarbeit

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

AP 9.3: Der Einfluss der Pilzinokulation auf den Radionuklidtransfer von Cs-137 und Sr-85 in die Roggenpflanzen wird bestimmt und mit den Ergebnissen aus dem Anbau der Kartoffelpflanzen verglichen. In Bodenproben aus den Topfexperimenten, die sich (tiefgekühlt auf -80 °C) bei uns im Haus befinden, soll gemeinsam mit unserem Partner von der FSU Jena die Vitalität der Pilze mittels DNA-Extraktion bestimmt werden. Des Weiteren wird die Versorgung der Pflanzen mit Mikro- und Makroelementen mittels ICP-MS und ICP-OES untersucht.

AP 13: Für September ist eine weitere Exkursion nach Tschernobyl geplant, um Kartoffeln zu ernten und abschließende analytische Arbeiten am Versuchsfeld durchzuführen.

AP 13.2: Eine Masterarbeit zur Abtrennung von Am-241 und Eu-154 aus den Boden- und Pflanzenproben und Quantifizierung mittels  $\alpha/\beta$ -diskriminierender Flüssigszintillation wurde begonnen. Nach einer Etablierung und Validierung der Methode, soll diese genutzt werden um auch für diese beiden Nuklide Transferfaktoren aus den bereits durchgeführten sowie zukünftigen Feldexperimenten zu gewinnen.

Die Boden- und Roggenproben aus der diesjährigen Ernte werden zunächst (gesamt-) gamma-spektrometrisch vermessen und hieraus Transferfaktoren und der Einfluss der Pilze bestimmt.

Des Weiteren soll die Bioverfügbarkeit von Cs, Am und Eu mittels Zeien und Brümmer Extraktion (Schritte 1+2) in individuellen Bodenproben aus der Sperrzone bestimmt werden um eine aussagekräftigere Korrelation von Boden- und Pflanzenkontamination zu gewinnen.

#### 5. Bezug zu anderen Vorhaben

-

#### 6. Berichte und Veröffentlichungen

1. Gupta, D.K., Deb, U., Walther, C., Chatterjee, S. (2018) Strontium in the ecosystem: Transfer in plants via root system. In: Gupta, D.K., Walther, C. (Eds.), Behaviour of Strontium in Plants and the Environment. **Springer Publication, Germany. (ISBN: 978-3-319-66573-3) pp. 1-18.**

2. Gupta DK., Schulz, W., Steinhauser, G., Walther, C. (2018) Radiostrontium uptake pathways in plants: Phytoremediation. **Environmental Science and Pollution Research (Communicated).**

3. Schulz, W., Gupta, D.K., Riebe, B., Steinhauser, G., Walther, C. (2018) Sorption of radiostrontium on different soils. **Applied Geochemistry (Communicated).**

4. Videotagebuch der Exkursion in die Tschernobyl-Sperrzone im Mai 2018:

<https://www.youtube.com/watch?v=HAb12Gih5SE>, zuletzt besucht am 03.07.2018.

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9401A
<b>Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer:</b> Universität Kassel – Fachbereich Maschinenbau Institut für Arbeitswissenschaft und Prozessmanagement Arbeits- und Organisationspsychologie 34132 Kassel	
<b>Vorhabenbezeichnung:</b> SiKoR - Sicherer und kosteneffektiver Rückbau	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> 01.11.2017 bis 31.10.2020	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 522.776,40 €
<b>Projektleiter/-in:</b> Prof. Dr. Oliver Sträter	<b>E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in:</b> straeter@uni-kassel.de

## 1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Projektes ist, auf Basis von Risikobetrachtungen innovative Lösungen bzw. Unterstützungssysteme zur Optimierung der Rückbauplanung und -durchführung herzuleiten und Dritten zur Verfügung zu stellen. So wird z. B. durch Kombination der Risikoaspekte in der Projekt- und Prozessplanung mit den Mechanismen für eine gute menschliche Zuverlässigkeit eine robuste Planung der Prozesse erreicht. Die Teilziele des Vorhabens sind demgemäß:

- Planungsprozesse hinsichtlich Minimierung der technischen und menschlichen Risikobeiträge zu unterstützen.
- Die Durchführung von Rückbauarbeiten hinsichtlich Minimierung der technischen und menschlichen Risikobeiträge zu unterstützen.
- Empfehlungen zur Integration dieser Erkenntnisse in das existierende Risikomanagement herzuleiten.

Durch die präventiv ausgerichtete Unterstützung von Planungsprozessen und Arbeitsvorbereitungen mit zugehörigen Schnittstellen wird zusätzlich ein kosteneffektiver Rückbau unterstützt, indem Umplanungsaufwände bzw. Nacharbeiten minimiert werden.

Mit dem Vorhaben steht den deutschen Anlagen und deren Betreibern und Dienstleistern ein Verfahren und Instrument zur Verfügung, um Planungsaspekte im Rückbau zuverlässiger zu gestalten sowie Rückbauarbeiten zuverlässiger, sicherer und auch kosteneffizienter durchzuführen.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm (A&O)

AP 1: Kommunikation, Koordination, Dokumentation & Veröffentlichung.

AP 2.1: Modellbildung und Aufbau des Virtuellen Raumes (VS).

AP 3.1: Auswahl kritischer Rückbautätigkeiten.

AP 4.1: Nutzung der HRA-Methode „CAHR“ für den Planungsprozess.

AP 5: Integration der erarbeiteten Ergebnisse.

AP 6: Validierung.

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

Im Januar 2018 fand ein Kick-Off-Meeting der beteiligten Projektpartner (Fachgebiet Arbeits- & Organisationspsychologie der Universität Kassel (A&O), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Kraftanlagen Heidelberg (KAH)) in den Räumlichkeiten der Kraftanlagen Heidelberg statt. Es wurden die wesentlichen Arbeitsanteile der verschiedenen Projektpartner detailliert erörtert (AP 1) und Rahmenbedingungen für die Zusammenarbeit festgelegt.

Als erster Arbeitsschritt wurden von A&O auf Basis umfassender Literaturrecherchen für den Rückbau wichtige „Safety Fundamentals“, grundlegende Kriterien zur sicherheitsgerechten Gestaltung von Rückbauprozessen im kerntechnischen Bereich, abgeleitet. Diese Safety Fundamentals sollten zur Erstellung eines Planungstools für sichere Rückbauprozesse herangezogen werden und wurden zu diesem Zweck zunächst als übergeordnete Kriterienklassen in einer Mind-Map-basierten Übersichtsgrafik dargestellt und nach ihrer Zugehörigkeit zur operativer oder zur strategischen Planungsebene entsprechend systematisiert. Anschließend wurden die einzelnen, übergeordneten Kriterien mit inhaltlich zugehörigen Aspekten detailliert ergänzt. Die auf diese Weise erweiterte Übersichtsgrafik diente als Grundlage für die Erstellung eines Planungstools, des sogenannten Safety Scanning Tools (SST). Das Safety Scanning Tool ist eine Software, welche auf grundlegenden Design-Kriterien aus der Gestaltung sicherheitsrelevanter Branchen wie Luftfahrtindustrie, Kernenergie, petrochemischer Industrie sowie See- und Eisenbahnindustrie basiert. Es führt den Anwender anhand eines zuvor definierten Fragenkatalogs systematisch durch alle als sicherheitsrelevant eingestuftten Aspekte eines konkreten Themengebietes und erstellt als Ergebnisoutput Netzdiagramme, die mögliche sicherheitskritische Bereiche aufzeigen. Auf diese Weise können bezüglich des Rückbaus kerntechnischer Anlagen mithilfe des Tools im Rahmen von Expertendiskussionen Sicherheitseinschätzungen vorgenommen werden. Das Tool soll im weiteren Projektverlauf mit Experten aus dem kerntechnischen Rückbau durchgeführt und zur systematischen Planung eines sicheren und kosteneffektiven Rückbauprozesses eingesetzt werden. Der Einsatz des Planungstools wird im Virtuellen Raum (Virtual Space; VS) des Fachgebietes A&O stattfinden, um planungsrelevante Zusatzinformationen parallel zum SST darstellen zu können und durch die multimediale Darstellungsweise die Qualität der Gruppendiskussion zu befördern.

Der VS wurde mit zusätzlichem technischen Equipment ausgestattet, welches es erlaubt, im weiteren Projektverlauf auch die Simulation ausgewählter Rückbautätigkeiten in Echtzeit in diesen übertragen zu können (AP 2.1).

Bei dem im März 2018 an der Universität Kassel abgehaltenen zweiten Treffen aller Projektpartner wurden die bisherigen Arbeitsergebnisse von A&O und KIT vorgestellt und diskutiert. Im Rahmen einer Begehung der Räumlichkeiten des Fachgebietes A&O wurden den externen Gästen der VS, die Motion-Capturing-Technologie des cEYEBermanS sowie die Eye-Tracking-Technologie präsentiert und demonstriert.

Im Mai 2018 besuchten die Projektpartner A&O und KIT die Firma Siempelkamp in Alzenau, um einer Verfahrensdemonstration (Diamantseilsägen) beizuwohnen. Im Rahmen dieses Treffens wurden die Möglichkeiten einer Zusammenarbeit von Siempelkamp und A&O erörtert, um das am Fachgebiet entwickelte SST in einem gemeinsamen Workshop durchzuführen und zu validieren.

Um weitere praktische Anwendungspartner zu gewinnen, wurde zudem Kontakt zu verschiedenen Betreibern von kerntechnischen Anlagen in Deutschland aufgenommen.

Das dritte Treffen der Projektpartner wurde im Juni 2018 in Karlsruhe am KIT abgehalten. In diesem Rahmen fand neben den jeweiligen Ergebnispräsentationen der Projektpartner auch eine Begehung der Versuchswerkstatt des KIT statt. Das KIT stellte zudem ein vergangenes Projekt vor,

in dessen Rahmen unter Wasser mittels der Rückbautechnik des Diamantseilsägens eine Konsole im Abklingbecken abgetrennt wurde. Dieses Beispiel soll im weiteren Verlauf des Projektes als konkretes Anwendungsszenario für die Durchführung des SST genutzt werden.

Im Juli 2018 stellte die Projektgruppe des Fachgebietes A&O drei Führungskräften der Firma RWE am Fachgebiet in Kassel das Projekt „SiKoR“ sowie die im Projekt einzusetzenden Methoden (Virtual Space und cEYEBermanS) und die bisher erarbeiteten Ergebnisse vor. Das Treffen diente dem Zweck, neue Kontakte im Bereich der Kernenergie zu knüpfen und erfahrene Anwendungspartner für „SiKoR“, beispielsweise für die Durchführung des im Rahmen des Projektes entwickelten Safety Scanning Tools, zu gewinnen.

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

Im Rahmen der Durchführung des SST anhand des oben beschriebenen konkreten Anwendungsszenarios soll das SST validiert und weiterentwickelt werden. Mittels des vom KIT angefertigten Verfahrenskatalogs soll es außerdem inhaltlich angepasst und um wichtige Aspekte erweitert werden. Geplant ist, das SST im Anschluss mit Experten aus der Kernkraft im Virtual Space durchzuführen.

Am KIT soll das Mockup eines Diamantseilsägevorgangs entsprechend des oben genannten, in der Vergangenheit durchgeführten Projektes aufgebaut werden, um im Rahmen eines an diesem Modell simulierten Sägevorgangs sicherheitskritische menschliche Tätigkeitsaspekte anhand von Blickbewegungsdaten mittels Eye-Tracking-Technologie zu erfassen und zu analysieren.

Ein geplanter Besuch des Kernkraftwerks in Biblis soll der Projektgruppe A&O detaillierte Einblicke in die Arbeitsabläufe in einer kerntechnischen Anlage ermöglichen.

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

keine

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

keine

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<b>Förderkennzeichen:</b> 15S9401B
<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> SiKoR - Sicherer und kosteneffektiver Rückbau	
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b> von 01.11.2017 bis 31.10.2020	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 522.776,40 €
<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

Ziel des Projektes ist, auf Basis von Risikobetrachtungen innovative Lösungen bzw. Unterstützungssysteme zur Optimierung der Rückbauplanung und -durchführung herzustellen und Dritten zur Verfügung zu stellen. So wird z.B. durch Kombination der Risikoaspekte in der Projekt- und Prozessplanung mit den Mechanismen für eine gute menschliche Zuverlässigkeit eine robuste Planung der Prozesse erreicht. Die Teilziele des Vorhabens sind demgemäß:

- Planungsprozesse hinsichtlich Minimierung der technischen und menschlichen Risikobeiträge zu unterstützen
- Die Durchführung von Rückbauarbeiten hinsichtlich Minimierung der technischen und menschlichen Risikobeiträge zu unterstützen
- Empfehlung zur Integration dieser Erkenntnisse in das existierende Risikomanagement herzustellen

Durch die präventiv ausgerichtete Unterstützung von Planungsprozessen und Arbeitsvorbereitungen mit zugehörigen Schnittstellen wird zusätzlich ein kosteneffektiver Rückbau unterstützt, indem Umplanungsaufwände bzw. Nacharbeiten minimiert werden.

Mit dem Vorhaben steht den deutschen Anlagen und deren Betreibern und Dienstleistern ein Verfahren und Instrument zur Verfügung, um Planungsaspekte im Rückbau zuverlässiger zu gestalten sowie Rückbauarbeiten zuverlässiger, sicherer und auch kosteneffizienter durchzuführen.

## 2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm (KIT)

AP 1: Kommunikation, Koordination, Dokumentation & Veröffentlichung

AP 2.2: Zusammenstellung eines Verfahrenskatalogs

AP 3.2: Erstellung eines Maschinenkatalogs

AP 4.2: Technische Risikoidentifizierung

AP 5: Zusammenfassung der erarbeiteten Ergebnisse

AP 6: Validierung

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

Vom Institut für Technologie und Management im Baubetrieb wurde ein User Case Diagram (UCD) für die Anwendungsfälle der späteren Verfahrens- und Maschinendatenbank festgelegt und im Projekttreffen in Karlsruhe vorgestellt (AP 2.2 und 3.2). Außerdem wurde ein Kriterienkatalog erarbeitet, welcher ebenfalls vorgestellt wurde mit der Bitte um Validierung durch die Projektpartner, insbesondere KAH als Anwender (AP 2.2 und 3.2).

Weiterhin wurden Daten für die Datenbank zu bestehenden Rückbauprojekten, Dekontaminations- und Zerlegeverfahren (AP2.2) gesammelt. U.a. wurden sämtliche verfügbaren Genehmigungen, Stellungnahmen und Sachstandinformationen von KKS, KWW und KWO durchgearbeitet, sowie die Tagungsbände der KONTEC (2009-2017) und AMNT (2004-2013).

Es fanden zwei weitere Projekttreffen (07.03.18 in Kassel und 26.06.18 in Karlsruhe) statt, um die Fortschritte der Projektpartner zu besprechen und das weitere Vorgehen festzulegen. Im letzten Projekttreffen wurde das Seilsägeverfahren als mögliches Fallbeispiel zur Erprobung des zu erarbeitenden Unterstützungssystems für die Planung des Rückbaus kerntechnischer Bauwerke diskutiert (AP2 und 3).

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

Vervollständigung des Kriterienkatalogs mit der Rückmeldung durch die Projektpartner. Evtl. noch eine Befragung/Feedback durch weitere Anwender einholen. Anschließend werden die Kriterien strukturiert und normiert, um für eine Datenbankabfrage zur Verfügung zu stehen. Auswahl eines geeigneten Datenbankmanagementsystems (AP 2.2 und 3.2).

Weiterführung der Datensammlung, zusätzliche Informationen zu den bereits gesammelten Daten bezüglich Verfahren (AP2.2) und Maschinen/Herstellern (AP3.2) sind geplant. Abschlussarbeiten zu Themenbereichen des Forschungsvorhabens werden ausgeschrieben (evtl. Betreiberbefragungen).

Prüfung des Seilsägeverfahrens auf dessen Tauglichkeit für den weiteren Projektverlauf sowie die Planung und Umsetzung in des Versuchsaufbaus in der Werkstatt am TMB planen (AP2 und 3).

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

keine

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

keine

<b>Berichtszeitraum:</b> 01.01.2018 bis 30.06.2018	<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 31.12.2018	<b>Gesamtförderbetrag des Vorhabens:</b> 5.968.465,18 €
<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 Schachtanlage 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)

Arbeitsschritt 1 - Vorbereitende Maßnahmen

Die vorbereitenden Maßnahmen als Voraussetzung zur Durchführung des Projektes wurden abgeschlossen.

zusammenfassend für:

Arbeitsschritt 2 - Erste Stufe der Bearbeitung der Dokumente

Arbeitsschritt 3 - Erste Analyse von Texten und Entwicklung eines Textanalysesystems

Arbeitsschritt 4 - Einführung des Textanalysesystems und weitere Auswertung der Dokumente

Die Recherche nach Gutachten, Berichten und wissenschaftlichen Arbeiten, die durch das frühere IFT (heute GRS Abt. Tief Lagerung) bzw. für die Schachanlage Asse II durch Dritte erstellt wurden, ergibt mit Stand 31.05.2018 eine Anzahl von ca. 1.675 Dokumenten. Bisher konnten 1.165 Unterlagen beschafft und digital archiviert werden.

Arbeitsschritt 5 - Einführung des betriebsreifen Textanalysesystems und weitere Auswertung der Dokumente

Das betriebsreife Textanalysesystem wurde eingeführt.

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

Es wird der Abschlussbericht mit Sachstand 31.05.2018 erstellt.

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

Im Laufe des Projektes hat sich gezeigt, dass verschiedene Facheinrichtungen, wie beispielhaft das Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE), die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE), das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) Interesse an diesen Forschungsergebnissen haben.

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

- siehe HJB 2017 1 -

**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)