

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
1. Juli - 31. Dezember 2018

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
1. Juli – 31. Dezember 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) 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.

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
01.	Zerlegeverfahren	
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	11
15S9402B	Verbundprojekt: Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser - Teilprojekt: Entwicklung einer Prozesssteuerung für Hybrid-Trennverfahren unter Wasser	17
15S9404	Innovatives Seilschleifkonzept für die Bearbeitung von Stahl	20
15S9408	Automatisierte Zerlegung von Reaktordruckbehältereinbauten mit Hilfe von Unterwasser-Lasertechnik	24
02.	Dekontaminationsverfahren und Gebäudefreigabe	
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
15S9409A	Verbundprojekt: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen - Teilprojekt: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung in reaktornahen Bauteilen und deren Validierung an Experimenten als Basis der Aktivitätsrechnungen	37
15S9409B	Verbundprojekt: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen - Teilprojekt: Entwicklung und Anwendung einer Rechenmethode zur genauen Bestimmung der Aktivitäts- und Dosisleistungsverteilung von KKW für optimalen Rückbau	39
03.	Abfallbehandlung, Abfalldeklaration, Zwischenlagerung	
15S9225A	Magnet-Separation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (MASK)	41
15S9225B	Magnet-Separation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (MASK)	44
15S9266A	Verbundprojekt: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS)	47
15S9266B	Verbundprojekt: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS)	50
15S9400	Automatisierte, rechnergestützte Verpackungsplanung zur Reduzierung der Massen und Volumina der Abfallgebinde für das Endlager Konrad	53
15S9405A	Verbundprojekt: Konzeptstudie zur Entsorgung von aktiviertem Beryllium aus Forschungsreaktoren - Teilprojekt: Dekontamination, Konditionierung und Verwertung von bestrahltem Beryllium (KONEKT)	55

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
15S9405B	Verbundprojekt: Konzeptstudie zur Entsorgung von aktiviertem Beryllium aus Forschungsreaktoren - Teilprojekt: Inventarisierung und Randbedingungen zu Endlagerung von bestrahltem Beryllium (KONEKT)	58
15S9406A	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Entwicklung und Bau der Messanlage	60
15S9406B	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Methoden- und Softwareentwicklung	63
15S9406C	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Online-Messungen des Neutronenflusses	66
15S9407A	Verbundprojekt: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit - Teilprojekt A: Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Konditionierungsverfahren mit Nuklidseparation zur Volumenreduktion	69
15S9407B	Verbundprojekt: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit - Teilprojekt B: Entwicklung und Erprobung von Verfahrensansätzen zur Vergasung von Reaktorgraphit für die optimale Abtrennung radioaktiver Kontaminationen	72
04.	Umwelt- und Strahlenschutz	
15S9194	Umsetzung von Schwermetall-Landfarming zur nachhaltigen Landschaftsgestaltung und Gewinnung erneuerbarer Energien auf radionuklidbelasteten Flächen (USER)	75
15S9276A	Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	78
15S9276B	Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	82
15S9276C	Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	86
15S9276D	Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	89
05.	Mensch und Organisation	
15S9401A	Verbundvorhaben: Sicherer und kosteneffektiver Rückbau (SIKOR) - Teilvorhaben: Planung und Durchführung zuverlässiger Personalhandlungen	93
15S9401B	Verbundvorhaben: Sicherer und kosteneffektiver Rückbau (SIKOR) - Teilvorhaben: Technische Risikoaspekte	96

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9286
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover - Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)	
Vorhabenbezeichnung: Kontakterosives Abrichten mehrschichtiger Seilschleifwerkzeuge für die Stahlbeton- und Stahlbearbeitung (KESS)	
Laufzeit des Vorhabens: vom 01.09.2016 bis 31.08.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 512.976,00 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 Abrichtergebnis 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 Abrichtergebnis zu erzielen.

AP 6 Prototypische Umsetzung der Ergebnisse

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP5: Für die einfachere und kostengünstigere Untersuchung geeigneter Segmentbindungen wurde ein Analogiewerkzeug hergestellt, mit dem sich einzelne Schleifsegmente untersuchen lassen, ohne dass die Herstellung eines kompletten Seils notwendig ist. Bis zu 12 Schleifsegmente werden mit Hilfe von Spannstiften auf dem Umfang des Trägers positioniert. Das Analogiewerkzeug ist in einer Flachsleifmaschine der Firma Geibel und Hotz montiert. Der Grundkörper wird durch einen Gleitkontakt positiv polarisiert, um an den daran befestigten Schleifsegmenten einen möglichst großen Bindungsabtrag zu erzeugen. Die Graphitelektrode ist vom Maschinentisch isoliert und weist eine negative Polarität auf (Bild 1).

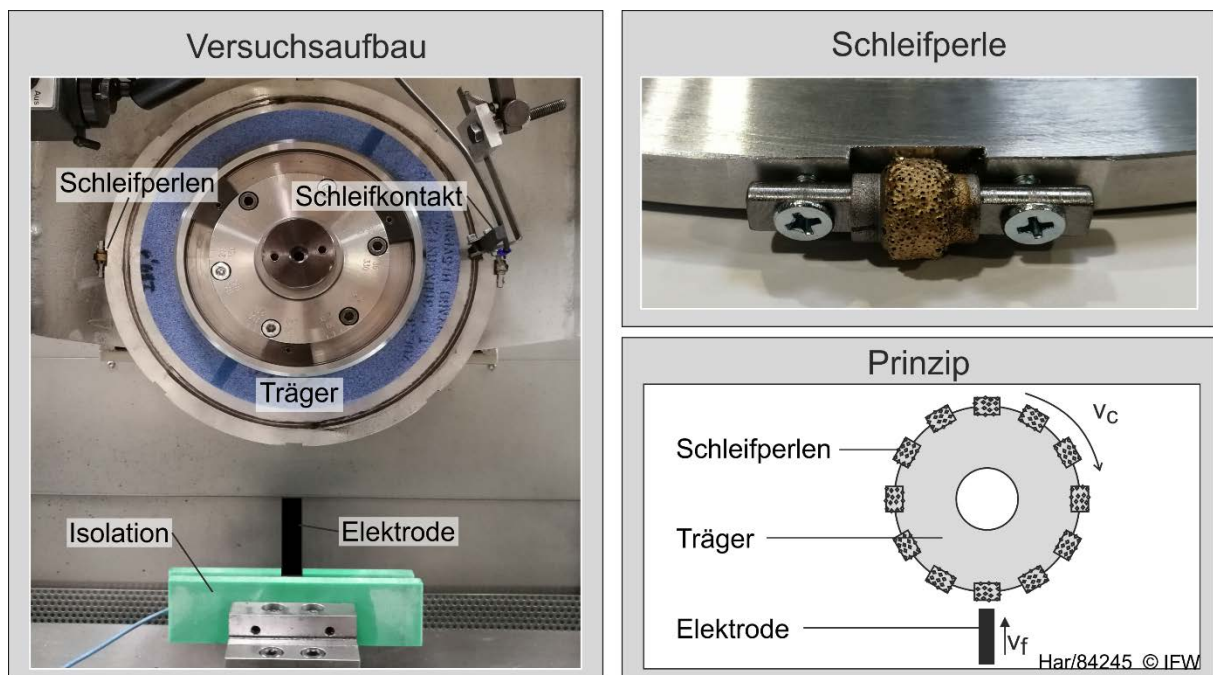


Bild 1: Mehrschichtig gelötete Schleifperlen auf Analogiewerkzeug

Die untersuchten Prozessparameter für den Schärfprozess von mehrschichtig gelöteten Schleifsegmenten sind die Schärfspannung U_{ds} , der Schärffstrom I_{ds} und die Vorschubgeschwindigkeit der Elektrode $v_{f,e}$. Der Parameterbereich für die Spannung und den Vorschub wurden auf der Grundlage von den bereits durchgeführten Untersuchungen zum Schärfen von gesinterten Schleifsegmenten ausgelegt. Die Spannung U_{ds} wurde zwischen 20 V und 100 V und die Vorschubgeschwindigkeit $v_{f,e}$ zwischen 0,1 mm/min und 1 mm/min variiert. Für die quantitative Analyse des Prozesses wird der Kornüberstand der Diamanten mit einem Laserprofilometer $\mu scan$ der Firma NanoFocus gemessen.

Mit einer höheren Schärfspannung U_{ds} wird die Rücksetzrate der Bindung deutlich erhöht. Bis zu einer Spannung von 40 V sind die Rücksetzraten mit maximal 4,3 $\mu m/min$ nur moderat und nahezu unabhängig von der Vorschubgeschwindigkeit. Ab einer Spannung von $U_{ds} = 60 V$ sind die Rücksetzraten deutlich höher und steigen mit dem Elektrodenvorschub an. Ab einer Vorschubgeschwindigkeit von 0,5 mm/min stagniert jedoch das Niveau der Rücksetzraten, so dass eine weitere Erhöhung des Vorschubs keine wesentlichen Vorteile bringt. Dies könnte auf die Abmessungen der Diamanten von ca. 600 μm und die Tatsache zurückzuführen sein, dass nur ca. 90° vom Umfang der Segmente durch die Graphitelektrode

in den ECDD-Prozess eingebunden sind. Dadurch wird die maximale Anzahl der aktiven Schneidkanten in der Kontaktzone der Schleifsegmente erreicht und eine weitere Erhöhung ist nicht mehr möglich. Die Ergebnisse zeigen, dass die Bindung oberhalb einer Schärfspannung von 60 V mit über 10 $\mu\text{m}/\text{min}$ zurückgesetzt wird. Bei $U_{ds} = 40\text{ V}$ und darunter liegen die Rücksetzraten mit maximal 4,5 $\mu\text{m}/\text{min}$ auch abhängig vom Elektrodenvorschub auf einem niedrigeren Niveau. Die Durchschlagsfestigkeit E_{krit} ist bei diesen Spannungen möglicherweise nicht hoch genug, um zu einer konstanten Bildung von Plasmakanälen zu führen. Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit den Untersuchungen an gesinterten Schleifsegmenten. Höhere U_{ds} führen jedoch zu höheren Temperaturen während des Schleifvorgangs, was sich negativ auf die Standzeit von Seilschleifwerkzeugen auswirkt. Die Gummierung der Werkzeuge sind nur bis zu 100 °C stabil. Frühere Experimente zur Untersuchung der ECDD von Seilschleifwerkzeugen zeigten thermische Schäden an der Gummibeschichtung, die mit höherer Spannung zunahm. Bei $v_{f,e} = 0,5\text{ mm}/\text{min}$ und $U_{ds} = 60\text{ V}$ wird eine Bindungsrücksetzrate von 13,5 $\mu\text{m}/\text{min}$ erreicht. Die Verschleißrate dieser Schleifsegmente beim Trennschleifen von S355JR-Stahl beträgt ca. 3,5 $\mu\text{m}/\text{min}$. Dies ermöglicht das Inprozess-Schärfen und damit die Kompensation des Verschleißes während des Schleifprozesses auch bei niedrigeren Parametern des Vorschubs, um den Elektrodenverbrauch zu reduzieren. Mit den Schärfparametern $v_{f,e} = 0,2\text{ mm}/\text{min}$ und $U_{ds} = 40\text{ V}$ wird eine Rückstellrate von 3,5 μm erreicht und somit konstant scharfe Schleifsegmente garantiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP5: Da kein Hersteller gelötete Schleifsegmente mit mehr als 2 Lagen liefern kann, werden als nächstes am IFW gesinterte Schleifsegmente für Analogieversuche hergestellt und eingesetzt. Dabei liegt der Fokus auf besonders hohen Kornhaltekräften, die bei am Markt verfügbaren Werkzeugen aufgrund der Auslegung auf die Selbstschärfung nicht maximiert wurden. Diese werden auf Abrichtbarkeit und Kornhaltekräfte untersucht und den gelöteten Werkzeugen gegenübergestellt. Über eine Aufschlüsselung der eingesetzten Diamanten, Sinterkurven und Bindungszusammensetzungen wird die Auslegung künftiger Seilschleifwerkzeuge für die Metalltrennung erarbeitet. Zudem wird mit den ermittelten Bindungsrücksetzraten ein In-Prozessschärfen von mehrschichtig gelöteten Seilschleifwerkzeugen durchgeführt. Die dabei entstehenden Prozesskräfte und Temperaturen werden denen einschichtiger Werkzeuge gegenübergestellt.

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: Kontakterosives Schärfen von Seilschleifwerkzeugen, DIHW; Ausgabe 2/2018, S. 34-38

Denkena, B., Grove, T., Harmes, J.: (2018): Electro contact discharge dressing of wire sawing tools, Proceedings of the 21st International Symposium on Advances in Abrasive Technology, ISAAT 2018, October 14-17, 2018, Ryerson University, Toronto, Canada, 7 Seiten.

Denkena, B., Grove, T., Harmes, J., Heller, C.: (2018): Kontakterosives Schärfen von mehrschichtig gelöteten Schleifperlen, Der Betonbohrer, Ausgabe 43/2018, S. 60-63

Zudem werden eine Veröffentlichung und ein Vortrag auf der Kontec 2019 eingereicht.

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9402A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Werkstoffkunde	
Vorhabenbezeichnung: Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser (HugeCut)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2017 bis 31.10.2020	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 822.136,80 €
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Thomas Hassel	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 prozesssichere 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)

- Der in der nachfolgenden Abbildung dargestellte Prüfstand zur Untersuchung der Wärmeeinbringung unterschiedlicher Verfahren sowie für die Durchführung der späteren Trennversuche wurde im Berichtszeitraum fertiggestellt und in Betrieb genommen. Das AP6 „Prüfstandentwicklung für die praktischen Versuche“ wurde somit abgeschlossen.

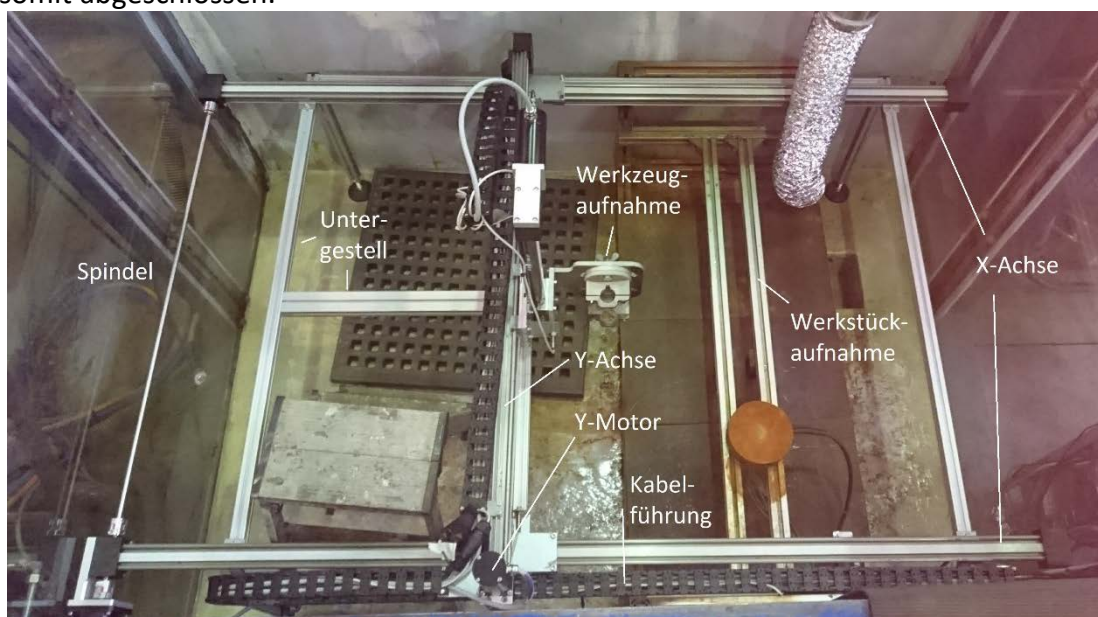


Abbildung 1: Manipulatorsystem im Versuchsbecken

- Kernkomponente des Versuchsstandes ist ein modular aufgebauter 3-Achs Manipulator der mit einer frei programmierbaren CNC-Steuerung gekoppelt wurde. Der Aufbau des Versuchsstandes erfolgte in einem Wasserbecken, welches die für die Verfahrensentwicklung erforderliche Wasserüberdeckung vom gut einem Meter ermöglicht. Zusätzlich wurde der Versuchsstand im Hinblick auf die im AP11 geplante Qualifizierung des Prototyps so gestaltet, dass er mit geringfügigen Modifikationen in der Druckkammer im Tauchbecken des Instituts montiert werden kann, um dort mit dem späteren Brennerprototyp auch Versuche unter mehreren Metern Wasserüberdeckung durchzuführen.
- Aufbauend auf den Ergebnissen des vorangegangenen Berichtszeitraums, aus dem Arbeitspaket 4 wurde die Entscheidung getroffen, dass sowohl die Autogenflamme sowie der MF-Induktor eine gute Eignung Vorwärmverfahren beim hybriden Trennen besitzen. Da die für die Untersuchungen zur Vorwärmung mittels Plasmalichtbogens erforderliche Anlagentechnik, aufgrund der hohen Auslastung des Lieferanten, erst Ende Dezember ausgeliefert wurde und sich demnach die Versuche mit diesem

Verfahren verzögerten, wurden im Vorgriff auf das AP 8 bereits weitere Versuche mit diesen beiden Verfahren durchgeführt.

- Um die Eignung verschiedener Verfahren als Vorwärmverfahren für den hybriden Schneidprozess beurteilen und vergleichen zu können spielen mehrere Faktoren eine Rolle. Beim autogenen Brennschneiden unter Wasser ist die Wärmeeinbringung in die oberen Millimeter der Probe entscheidend. Die Wärmeeinbringung in diesem Bereich ist weitestgehend von der Vorwärmung und nicht von der exothermen Verbrennung abhängig. Tiefer im Material überwiegt der Einfluss der exothermen Verbrennung und der Effekt der Wechselwirkung des Werkstücks mit dem Wasser wird wesentlich geringer. Entscheidend für die Hybridisierbarkeit des Vorwärmverfahrens ist allerdings nicht nur die absolute Energiemenge, welche mit dem Verfahren in das Werkstück eingebracht werden kann, sondern insbesondere der Teil dieser Energiemenge, welcher tatsächlich für den hybriden Prozess nutzbar ist. Die Größe dieses Anteils wird beispielsweise durch die Geometrie der Wärmequelle bestimmt, da diese maßgeblich für den Abstand zwischen der vorlaufenden Wärmequelle und dem nachlaufenden Autogenprozess ist beziehungsweise darüber entscheidet ob beispielsweise ein koaxialer Aufbau von Vorwärmung und Autogenprozess möglich ist.
- Um den Einfluss der Geometrie der Wärmequelle abbilden zu können, wird die Energieeinbringung der Verfahren mit bewegter Wärmequelle untersucht. Hierzu wurde das Temperaturfeld ermittelt, welches sich in den oberflächennahen Schichten des Werkstücks bei einer „Überfahrt“ der Wärmequelle ausbildet. Es wurde ein rechteckiger Probenkörper im Abstand von 16 mm mit vier Reihen von jeweils 3 Thermoelementen in einem Abstand von 10, 7 und 4 mm von der Werkstückoberfläche versehen. In den nachfolgenden Abbildungen sind exemplarisch die Temperaturverläufe dargestellt, welche sich beim Überfahren der Probe mit dem Induktor in orthogonaler bzw. paralleler Ausrichtung zur Vorschubachse ergeben.

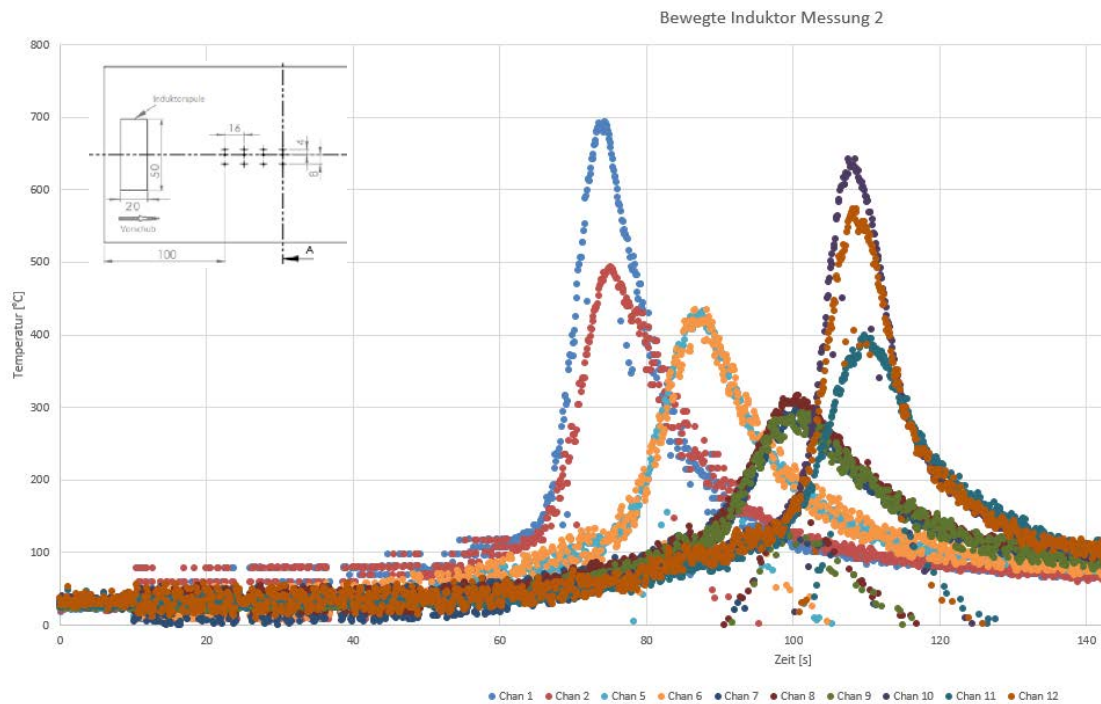


Abbildung 2: Ermittelte Temperaturverläufe mit orthogonaler Orientierung des Induktors

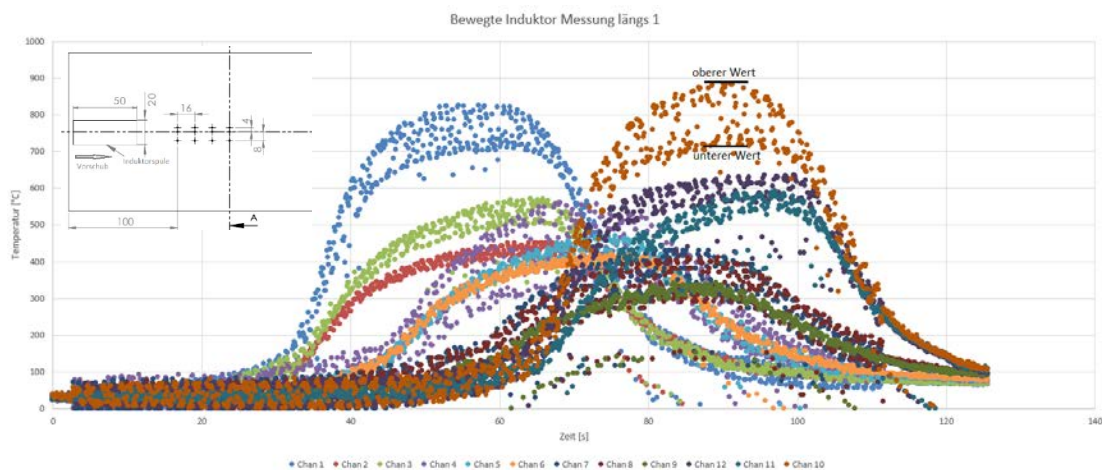


Abbildung 3: Ermittelte Temperaturverläufe mit paralleler Orientierung des Induktors

- Die Abbildungen zeigen den Einfluss der Orientierung der Wärmequelle bei einer identischen Vorschubgeschwindigkeit von $v = 80 \text{ mm/min}$, welche sich aus der unterschiedlichen geometrischen Ausprägung der Wärmeeinbringung ergibt. Die oberflächennahen Thermoelemente erreichen in der Spitze eine Temperatur von etwa $600\text{-}800^\circ\text{C}$. An den Thermoelementen in 10 mm Tiefe erfolgt, in Abhängigkeit von der Orientierung der Wärmequelle, ein Temperaturanstieg auf $300\text{-}400^\circ\text{C}$.
- Von besonderer Bedeutung für die Konzeption des hybriden Schneidprozesses ist allerdings der Abfall der Temperaturkurven nach der Überfahrt der Wärmequelle. Ohne weitere Maßnahmen zur Verminderung der Abkühlung fällt die Temperatur an den Thermoelementen in 10 mm Tiefe bereits 12 s nach der Überfahrt des Induktors (nach einem weiteren Vorschub von etwa 16 mm) auf unter 200°C , nach weiteren 16 mm Vorschub ist sie bereits auf 150°C gefallen. Diese $16\text{-}32 \text{ mm}$ Abstand entsprechen, in Abhängigkeit von der Geometrie der Wärmequellen, etwa dem Abstand der sich bei einer vorlaufenden Wärmequelle zwischen dieser und dem Autogenprozess ergibt. Bei der Propangasflamme wird dieser Temperaturabfall,

bedingt durch die am Brenner montierte Abschirmkappe, welche die Wechselwirkung mit dem Wasser in der direkten Nähe des Prozesses vermindert, etwas abgeschwächt.

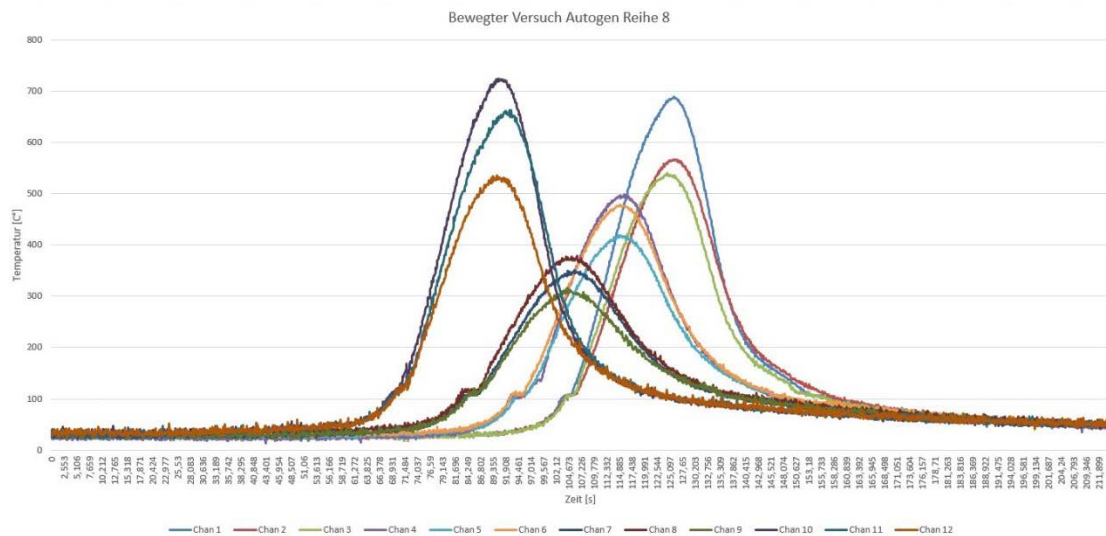


Abbildung 4: Ermittelte Temperaturverläufe bei der Vorwärmung mit einer Propangasflamme

- Um die eingebrachte Energiemenge des Vorwärmverfahrens für den hybriden Autogenprozess nutzbar machen zu können, ist demnach die Wechselwirkung zwischen dem Werkstück und dem umgebenden Wasser im Bereich der Prozesszone soweit wie möglich zu vermeiden. Neben der Schaffung einer Gaskaverne welche beide Prozesse umschließt, ist es hierzu denkbar mit einer wärmeisolierenden Abdeckung, beispielsweise aus einer Keramik, unter der sich in Folge des an der heißen Werkstückoberfläche siedenden Wassers eine dünne Dampfschicht ausbildet. Hierdurch wird es möglich diese Wechselwirkung zwischen Vorwärm- und Autogenprozess weitestgehend unterbinden. Im Rahmen von AP 8 werden weitere Untersuchungen hierzu erfolgen.
- Im Rahmen des Projekttreffens am 21.12.18 erfolgte die Abstimmung der grundlegenden Aspekte des Lastenheftes für das thermische, hybride Trennverfahren (AP5). Ein besonderer Fokus lag hierbei auf der Definition der Randbedingungen, da sich hierdurch die Anforderungen an den Prozess sowie den erforderlichen Aufbau des späteren Demonstrators ableiten lassen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Für den Abschluss von AP 4 wird noch der Plasmabrenner als Vorwärmverfahren untersucht. Diese Untersuchungen konnten im Berichtszeitraum noch nicht erfolgen, da die erforderliche Plasmaquelle erst am Ende des Berichtszeitraumes geliefert werden konnte.
- Aufbauend auf den Ergebnissen von AP 4 sowie den bereits erfolgten Untersuchungen mit den bewegten Wärmequellen wird in weiteren Versuchen der Einfluss unterschiedlicher Gestaltungen des Umfeldes der Wärmequelle, wie lokale Abdeckungen oder beispielsweise Gaskavernen, untersucht. Diese Untersuchungen sind erforderlich um ableiten zu können wie eine effiziente und

wechselwirkungsarme Kopplung von Vorwärmverfahren und Autogenprozess ermöglicht werden kann.

- Für die späteren Trennversuche wurde Körperschallmesstechnik beschafft, die eine Signalaufnahme unter Wasserabdeckung erlaubt. Es stehen vier Sensoren zur Verfügung die eine redundante Signalaufzeichnung ermöglichen. Zusätzlich sichern sie durch Trilateration eine Positionsbestimmung des Schallereignisses, das den Ort des Schneidprozesses darstellt. Hierzu werden die Laufzeitunterschiede der Signale an den einzelnen Sensoren berechnet und lassen somit eine Positionsbestimmung des Signalereignisses zu. Durch die Anbringung von jeweils zwei Sensoren auf beiden Seiten des Schnittes soll weiterhin untersucht werden ob eine Detektion von Fehlern im Trennprozess (Schlackebrücken, unvollständige Trennung) im Prozesssignal sicher erkannt werden kann.
- Die Prozesszone wird im weiten Versuchsverlauf mittels Videoaufzeichnung optisch überwacht. Hier soll überprüft werden ob die im Prozess freiwerdende elektromagnetischen Strahlung im sichtbaren Bereich hinsichtlich Farbzusammensetzung und Intensität einen Rückschluss auf die Prozessgüte und auftretenden Störereignisse zulässt. Die Bewertung soll hierbei in Korrelation mit den Körperschallmessungen und dem erreichten Schnittergebnis erfolgen.

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.

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018		Förderkennzeichen: 15S9402B	
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: NUKEM Technologies Engineering Services GmbH			
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser Teilprojekt: Entwicklung einer Prozesssteuerung für Hybrid-Trennverfahren unter Wasser			
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2017 bis 31.10.2020		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 98.856,11 €	
Projektleiter/-in: Klaus Büttner		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 Fernhandlung des Verfahrens erforderlichen hohen Prozesssicherheit verbinden. Die gewonnen 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 zwei Projekttreffen / Workshops mit der Universität Hannover abgehalten (30.08. sowie 20.12.2018). Dabei wurden die Arbeitsergebnisse vorgestellt und diskutiert. Im Wesentlichen wurden dabei die Resultate der Versuche zu AP4: „Praktische Untersuchungen und Simulation / Modellbildung zur Validierung der Wärmequellenauswahl“ betrachtet. Die von der Universität Hannover erzielten Ergebnisse wurden dann in die Erstellung des Lastenheftes einbezogen.

Das Lastenheft beinhaltet Angaben zu den übergeordneten Anforderungen an das hybride Schneidverfahren, den zu zerlegenden Bauteile, der Spezifikation des Zerlegeumfeldes, sowie der Prozessüberwachung.

- Übergeordnete Anforderungen an das hybride Schneidverfahren:
 - Fernbediente, „qualitätsgesicherte“ Zerlegung von Großkomponenten im kerntechnischen Rückbau. Ziel: Sicheres (vollständiges) Trennen
 - Weitestgehend „in-situ“ bzw. Abschirmung durch Wasserabdeckung => max. Einsatztiefe bis etwa 10m (bis 2m überwiegend ausreichend für Nachzerlegertätigkeiten zur Reduzierung luftgetragener Kontamination)
 - Prozessüberwachung / Rückkopplung
- Zu zerlegende Bauteile
 - Brennschneidgeeigneter Grundwerkstoff (z.B. „Druckbehälterstahl 22NiMoCr3 7 oder 22MnMoNi 5 5) oder vergleichbar.
 - teilweise austenitische / Ni-Basis-Plattierung (maximal 10 mm stark), z.B. Inconel 600/606, 1.4551
 - Materialstärke:
 - Zylinderische Mantelsegmente (ca. 85 bis 250 mm Wandstärke),
 - Kalotten (130 bis 250 mm)
 - Deckelflansche (≥ 450 mm)

- Komplexität der Geometrie
Die zunehmende Dickenschwankung kann fertigungsbedingt ± 2 mm für homogenen Schnitt betragen. Abweichende Materialstärken können konstruktionsbedingt (z.B. im Bereich von Stützen) bis zu ± 100 mm im Vergleich zum Mantelmaterial erreichen. Die erforderliche Abweichung vom linearen Schnittverlauf zu einer Umgehung von Störkanten soll einen halben Stützendurchmesser ($d < 800$ mm) nicht überschreiten.
- Zerlegeumfeld
 - Mechanische Schnittstelle des Brenners zum Manipulator
 - Gewicht: 15kg zuzüglich Schläuchen
 - Maximale Abmessungen: so klein wie möglich
 - Montageflansch: in diesem Zusammenhang nicht relevant
 - Anordnung der Zuleitungen: Außerhalb thermischer Einflusszone
 - Prozessbeschreibung
 - Anzahl von manipulierten Achsen während des Schnittes (Schnittkontur): min. 2D, 3D vorteilhaft
 - mögliche maximale / minimale Vorschubgeschwindigkeit
- Weitere Restriktionen
kein Wasserstoff
- Prozessüberwachung
 - Schnittstellendefinition zwischen Sensorik und Manipulatorsteuerung:
 - Prozess Start / Stop
 - Aktiver Eingriff in die Manipulatorsteuerung (Langsamer / Schneller / Stop / Start / Abbruch / sicherer Notaus)
 - Prozessbeobachtung: visuell und akustisch
 - Notbergevorrichtung
 - Durchschnittskontrolle vorteilhaft

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Während der im zweiten Halbjahr geplanten Workshops zusammen mit der Universität Hannover wird AP5 "Lastenheft fernhantierte thermische Zerlegung" abgeschlossen und die Spezifikationen für die Messtechnik zu AP9 „Prototypentwicklung und -bau“ begonnen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9404
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover - Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)	
Vorhabenbezeichnung: Innovatives Seilschleifkonzept für die Bearbeitung von Stahl (InnoSeil)	
Laufzeit des Vorhabens: vom 01.12.2017 bis 30.11.2020	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 457.918,94 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 Selbstschärfeeffekt 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

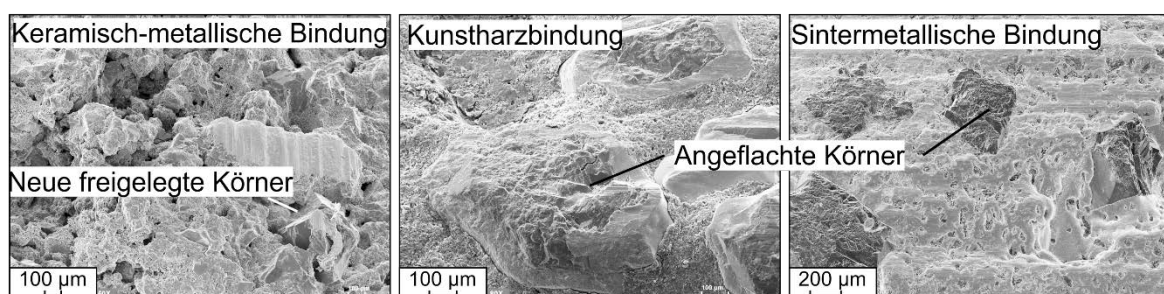
Abschließend werden die Leistungsdaten eines vollwertigen Demonstrator-Werkzeugs einem vergleichbaren, kommerziellen Diamantseilschleifwerkzeug gegenübergestellt.

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

AP 1: Ziel des Arbeitspakets 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 verwendet. 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. Um ein breites Bindungsspektrum abzudecken, wurden in Zusammenarbeit mit der Fa. BDW-Binka eine Kunstharzbindung, eine sintermetallische Bindung und eine keramisch-metallische Hybridbindung mit adaptierter Bindungszusammensetzung entwickelt und hinsichtlich ihres Selbstschärfeverhaltens untersucht. Dabei muss die Rücksetzgeschwindigkeit der Bindung an das Verschleißverhalten der Perle angepasst sein.

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.

Das Ergebnis ist in Abbildung 1 zu sehen. Sowohl die Kunstharzbindung als auch die sintermetallische Bindung weisen nach einer Schleifzeit von 340 min nur noch einen sehr geringen Kornüberstand auf. Nach dem Anflachen der CBN Körner werden die stumpfen Körner nicht aus der Bindung gelöst. Somit ist kein ausreichendes Zurücksetzen der Bindung oder ein Freilegen neuer Kornlagen zu beobachten. Auch eine Adaption der Bindungszusammensetzung der metallischen und kunstharzgebundenen Schleifsegmente lässt somit keinen Selbstschärfeeffekt der Bindung zu. Die keramisch-metallische Hybridbindung (links in der Abbildung 1) zeigt hingegen auch nach dem Ende der Einsatzzeit von 340 min scharfe Körner auf. Das bedeutet, dass die Hybridbindung während des Schleifprozesses zurückgesetzt wird und so tieferliegende Schleifkörner freigesetzt werden.



Hel/94274 © IFW

Abbildung 3: REM-Aufnahmen verschiedener Bindungen

Sobald die Körner im Schleifprozess verschleifen, steigt aufgrund der erhöhten Kontaktfläche und einer Verringerung des Spanraums die Reibung. Dies führt zu erhöhten Prozesskräften, besonders zu einer Erhöhung der Schleifnormalkraft. Ist das Belastungskollektiv zu hoch, kommt es zum Bruch der Bindungsbrücken in der Bindung. Dadurch wird die Bindungsoberfläche zurückgesetzt und der Spanraum erhöht, was eine Abnahme der Prozesskräfte zur Folge hat. Dieser zyklische Selbstschärfeeffekt konnte anhand der

reduzierten Spitzenhöhe der Schleifscheibentopographie nachgewiesen werden. Diese pendelt im Einsatzverlauf zwischen 32 µm und 44 µm. Da die reduzierte Spitzenhöhe über der Zeit konstant bleibt, ist ein konstanter Spanraum gegeben. Dieses Ergebnis wird durch einen konstanten Prozesskraftverlauf bestätigt. Somit steht als Ergebnis des Arbeitspakets 1 eine gesinterte mehrschichtige Bindung für das trockene Trennen von Stahl zur Verfügung.

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. Die Herausforderung liegt neben den gewünschten Eigenschaften des Vergusswerkstoffes, wie Anbindung an das Trägerseil und Temperaturbeständigkeit, in der Verarbeitbarkeit des Werkstoffs. Dieser muss in bestehenden Anlagen verwendet werden können. Es wurden Referenzmessungen mittels Infrarot-Spektroskopie durchgeführt, um die Zusammensetzung des Vergusswerkstoffes am Markt verfügbarer Seilschleifwerkzeuge zu analysieren. Hier hat sich gezeigt, dass diese aus Acrylnitrilbutadien-Kautschuk (NBR) mit Zusätzen von Kieselsäure und Silikat bestehen.

Nach Überprüfung der Verarbeitbarkeit verschiedener Werkstoffe konnten zwei Werkstoffe gefunden werden, aus denen zur Zeit Prototypenwerkzeuge gefertigt werden. Dies ist eine Mischung auf Basis eines hydrierten Acrylnitrilbutadien-Kautschuks (HNBR) sowie eine Fluor-Kautschuk-Mischung (FKM). Die FKM-Mischung zeichnet sich durch eine besonders hohe Temperaturbeständigkeit von 200 - 250 °C aus. HNBR bietet gegenüber handelsüblichen Vergusswerkstoffen (ca. 100 °C) ebenfalls eine erhöhte Temperaturbeständigkeit von ca. 150 °C, besitzt aber eine höhere mechanische Verschleißfestigkeit gegenüber der FKM-Mischung.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2: Nach der Fertigstellung der Seilschleifwerkzeuge mit neuer Vergussmasse werden diese auf dem Seilschleifprüfstand eingesetzt und hinsichtlich ihrer Lebensdauer Referenzwerkzeugen gegenübergestellt. Anschließend erfolgt je nach vorliegenden Verschleißmechanismen und Versagensarten (Anbindung, Temperaturbeständigkeit, mechanische Verschleißfestigkeit) eine Anpassung der Werkstoffzusammensetzung der Vergussmasse.

AP 3: Aufbauend auf AP 1 werden zur Zeit Seilschleifwerkzeuge mit Schleifsegmenten aus der entwickelten Hybridbindung hergestellt. Diese werden anschließend auf dem Seilschleifprüfstand eingesetzt und das Einsatz- und Verschleißverhalten bewertet. Zudem erfolgt ein Abgleich mit dem Verschleißverhalten und der Lebensdauer von vakuumgelöteten Schleifsegmenten.

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, wies aber eine wesentlich verringerte Standzeit gegenüber der konventionellen Gummierung auf. Die Ergebnisse wurden im Schlussbericht des Vorhabens veröffentlicht.

6. Berichte und Veröffentlichungen

B. Denkena, T. Grove, C. Heller (2019) Dry wire grinding of steel with sintered CBN tools, Kontec 2019, Dresden: Es werden eine Veröffentlichung und ein Vortrag eingereicht.

Berichtszeitraum: 01.09.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9408
Zuwendungsempfänger / Auftragnehmer: Laser Zentrum Hannover e.V.	
Vorhabenbezeichnung: Automatisierte Zerlegung von Reaktordruckbehältereinbauten mit Hilfe von Unterwasser-Lasertechnik (AZULa)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2020	Gesamtförderung des Vorhabens: 384.537,62 €
Projektleiter: Dr.-Ing. SFI Jörg Hermsdorf	E-Mail-Adresse des Projektleiters: j.hermsdorf@lzh.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgt eine Machbarkeitsstudie, ob sich das Laserstrahlschneiden unter Wasser für den effizienten Reaktorrückbau einsetzen lässt. Die Ziele der Machbarkeitsstudie liegen in der Entwicklung eines Laserstrahlschneidprozesses sowie der konstruktiven Auslegung bzw. dem Bau eines kompakten Schneidkopfes für den Einsatz in einer radiologisch aktivierten und kontaminierten Umgebung unter Wasser für den direkten Rückbau von kerntechnischen Anlagen. Das Laserstrahlschneiden ermöglicht Prozessverbesserungen gegenüber herkömmlich eingesetzten Schneidverfahren, wie beispielsweise Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneidverfahren (WASS) oder Sägetechniken. Vorteile liegen in der verschleiß- und kraftfreien Bearbeitung sowie der teilweisen Bindung des Schnittfugenmaterials an der Austrittsseite. Der Aufwand für die abschließende Beckenboden-Reinigung ist damit geringer. Die Entstehung von Sekundär oder Technologieabfällen, die zusätzlich entsorgt werden müssen, wie zum Beispiel beim WASS oder bei Sägetechniken kann deutlich vermindert werden. Ein Verklemmen des Werkzeugs, wie es beispielsweise bei Sägetechniken auftreten kann, ist beim Laserstrahlschneiden nicht existent, wodurch die Prozesszeiten verkürzt werden.

2. Durchführungskonzept / Arbeitsprogramm

Zeitgleich mit der Definition durchzuführender Maßnahmen zur Lasersicherheit (AP5) und der Spezifikationen der möglichen Schneidaufgaben und der Randbedingungen für den Einsatz des Laserprozesses (AP1) wird am LZH damit begonnen einen Versuchsstand für das Unterwasserschneiden im Labormaßstab aufzubauen (AP2). Während ab dem Abschluss der Spezifikationen mit dem Design und Bau der Schneidoptik begonnen wird (AP4), werden bereits auf die Schneidaufgabe (Edelstahl in 3, 6 und 15 mm Stärke und Zircaloy in 3 mm Stärke) abgestimmte Vorversuche mithilfe einer bereits erprobten Schneidoptik durchgeführt (AP3). Sobald die neue Schneidoptik zur Verfügung steht, werden die Ergebnisse aus AP3 in die Prozessentwicklung mit der neu designten Schneidoptik übertragen (AP6) und sukzessive mit der Emissionsanalyse (AP7) sowie der Auslegung eines Sensorsystems zur Schneidüberwachung (AP8) begonnen. Nach Abschluss der vorangegangenen APs wird das Gesamtsystem in einem großen Tauchbecken in 4-6 m Wassertiefe validiert (AP9).

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP1 (Spezifikation)/AP10 (Koordination): Am 03. September 2018 fand das Kick-Off-Treffen beim Projektpartner, der Orano GmbH, in Erlangen statt. In diesem Rahmen konnten die Spezifikationen für das Design der Schneidoptik sowie die zu schneidenden Proben zwischen den Projektpartnern abgestimmt und definiert werden. Hierbei konnte von den bereits gesammelten Erfahrungen der Orano GmbH im Rückbau profitiert werden. Die Orano GmbH erklärte sich zudem bereit spezifisches Probenmaterial zur Verfügung zu stellen, welches bereits am Laser Zentrum Hannover eingetroffen ist. Zudem wurde beschlossen, neben den theoretischen Betrachtungen in AP5 auch eine spektroskopische Messung der durch das Wasser vagabundierenden Strahlung durchzuführen.

Neben versuchsbegleitenden Besuchen der Firma Orano wurden zwei Meilensteintreffen definiert. Diese sollen nach Abschluss von AP3 und AP4 (Juni 2019) sowie AP6 und AP7 (April 2020) erfolgen. Das erste dieser Treffen wird am LZH stattfinden.

AP2 (Versuchsaufbau): Der Versuchsaufbau wurde entsprechend den Planungen in den Versuchsstand (Wasserbecken mit absenkbarem Versuchs-Trägersystem) sowie dem Gantry-Achssystem untergliedert und separat in Auftrag gegeben. Nach aktuellem Stand wird das Gesamtsystem ab der KW9/2019 am LZH zur Verfügung stehen. Zusätzlich benötigte Peripherie konnte bereits angeschafft und zu großen Teilen vorbereitet werden. Hierzu zählen Schaltschrank und Steuerungseinrichtungen für den Versuchsaufbau sowie Sensorik und Kameraequipment für die Prozessüberwachung und -analyse.

AP3 (Vorversuche): Im Rahmen der Vorversuche sollen die Prozessparameter zunächst durch ein Screening auf ihre Signifikanz hin untersucht werden um die Anzahl der letztlich zu betrachtenden Parameter zielführend reduzieren zu können. Zu diesem Zweck wurde mit Hilfe der Methode des definitiven Screenings ein etwa 30 Versuche umfassender Versuchsplan erstellt, der die beeinflussbaren Prozessparameter in Bezug auf die Zielgrößen Gewichtsverlust (Aussage über Gratanhftung) und Grad der Durchtrennung (Berücksichtigung nicht geschnittener Stege oder unzureichender Schnitttiefe) setzt.

AP4 (Design und Bau der Schneidoptik): Unter Berücksichtigung der Spezifikationen aus AP1 wurde per CAD mit dem Design der Schneidoptik begonnen.

AP5 (Lasersicherheit): Es wurden theoretische Betrachtungen zur Lasersicherheit angestellt. Diese werden praktisch validiert, wenn der Versuchsaufbau bereitsteht.

4. Geplante Weiterarbeit

Anfang 2019 steht die Inbetriebnahme des Gesamtaufbaus bevor, woraufhin der Versuchsplan zu AP3 bearbeitet werden kann. Hieraus werden schließlich die prozessbezogenen Spezifikationen für die Auslegung der Schneidoptik in AP4 gewonnen. In diesem Rahmen sollen zudem die spektroskopischen Messungen zu AP5 durchgeführt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es liegt bislang kein Bezug zu anderen Vorhaben vor.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Über das Projekt AZULa wird auf der Webseite des Laser Zentrum Hannover e.V. berichtet. Dieser Bericht ist über die aktuellen Pressemitteilungen unter <https://www.lzh.de/de/publikationen/pressemitteilungen/2019/effizienter-reaktorrueckbau-durch-laserstahlschneiden> zu finden.

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9403A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: iUS Institut für Umwelttechnologien und Strahlenschutz GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Automatisierte Dekontaminationskabine für den Einsatz beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Dokumentation 4.0	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2018 bis 31.12.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 126.118,07 €
Projektleiter/-in: Dr. Maarten Becker	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 Strahlmittel) 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: Regelmäßige virtuelle Treffen mit Audio- und Bildschirmübertragung finden statt.

WBS 20: Abgeschlossen. Die KM-Plattform ist in Betrieb und Benutzung.

WBS 40.10, 40.20: Die Aktivität 40.10 ist mit dem JavaScript-Framework WiMeCo grundsätzlich abgeschlossen. Aus der Umsetzung der Aktivität 40.20 werden weitere Anforderungen aus der Praxis an WiMeCo erwartet, die mit der verbleibenden Bearbeitungszeit für 40.10 implementiert werden.

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 konkretisiert und in der KM-Plattform in Form von Listen und ausführendem Text zusammengetragen. Im Rahmen der Aktivität 60.40 befindet sich iUS im Austausch mit einem auch in Deutschland tätigen Interessenten aus dem EU-Ausland. iUS steht außerdem im Austausch mit einem Vertreter einer deutschen Gutachterorganisation, von dem eine Einschätzung des entstehenden Konzepts angefragt ist.

WBS 80.10.10, 80.30: Aus den Untersuchungen sind bislang zwei Konzepte hervorgegangen. Die Konzepte wurden mit den Projektingenieuren der Westfälischen Hochschule diskutiert und eines davon für die weitere Untersuchung in Betracht gezogen. Die Recherche nach freien (open source), verfügbaren Softwarebibliotheken zur Zerlegung von Geometrien und zur Nutzung der Bahnbeschreibung hat einige veraltete Entwicklungen und die von iUS und WH favorisierte aktuelle Entwicklung der Softwarebibliothek „PCL“ – point cloud library – eingeschlossen. Die PCL-Bibliothek wird von namhaften Unternehmen (Intel, Facebook, Apple) für Geometrierkennung in Industrie 4.0 Anwendungen mit entwickelt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

WBS 40.10, 40.20: Aus der Umsetzung der Aktivität 40.20 werden weitere Anforderungen erwartet, die die bestehende Funktionalität ergänzen werden. Die Satellitencomputer werden nun zuerst in einem einfachen Setup genutzt, um grundsätzlich die Funktionalität und Verwendung im Zusammenhang mit dem Softwareframework WiMeCo zu testen. Anschließend wird in einem Beispielszenario die automatisierte Erfassung von Daten, ihrer Aggregation und Auswertung für die Dokumentation entwickelt.

WBS 60.10, 60.20, 60.30, 60.40, 60.60.10: Die identifizierten Anforderungen werden mit dem Interessenten diskutiert und daß sich daraus ergebende Feedback in der weiteren Entwicklung berücksichtigt. Nach Einarbeitung des Kundenfeedbacks werden die Anforderungen komplettiert und die endgültige Fassung hergestellt. Der Kontakt zu deutschen Gutachterorganisationen wird weiter ausgebaut. Alle Projektpartner werden bei der vom PT GRS organisierten Veranstaltung „Forschung trifft Industrie“, die am 27. März während der KONTEC 2019 in Dresden stattfinden wird, teilnehmen und Betreibern sowie Lieferanten den aktuellen Stand berichten Fragen beantworten und Anregungen/Anmerkungen sammeln, um die Bedürfnisse der Industrie kennenzulernen.

WBS 80.10.10: Aus den Vorarbeiten hat sich ein Konzept als Favorit herausgestellt, daß nun algorithmisch beschrieben wird und prototypisch implementiert.

WBS 80.30: Die Recherche nach vorhandenen Softwarepackages richtet sich nun nach Bibliotheken, die zur Optimierung der Bahnsteuerung genutzt werden können. Diese Arbeit findet im engen Austausch mit dem Projektpartner Westfälische Hochschule statt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

Borrmann, F.: Running an SMW-based integrated management system in highly regulated environments. In: Proceedings of the 15th Semantic MediaWiki Conference. Regensburg, 2018

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

Becker, M.: Implementation and Application of an interface between project planning software and SMW based documentation. In: Proceedings of the 15th Semantic MediaWiki Conference. Regensburg, 2018

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018		Förderkennzeichen: 15S9403B	
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Westfälische Hochschule Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen			
Vorhabenbezeichnung: AuDeKa			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.18 bis 31.12.18		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 336.638,60 €	
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Antonio Nisch		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 wurden, im abgelaufenen Zeitraum, Punktwolken von verschiedenen Körpern mithilfe des ausgewählten Scansystems generiert. Dazu wurden unterschiedliche Methoden untersucht, um aus den Teilaufnahmen die gesamte Geometrie des Körpers zu erfassen. Weiterhin wurden mithilfe von PCL und eigenen Algorithmen verschiedene Methoden entwickelt und beurteilt, die zunächst die Oberfläche einfacher Geometrien, wie Quader und Zylinder beschreiben.

Zum Ende des zweiten Halbjahres wurde die Versuchsanlage, bestehend aus Roboter, Positionierer und Scansystem, aufgebaut und in Betrieb genommen.

Im Einzelnen wurden folgende Tätigkeiten ausgeführt:

Das gelieferte Scansystem, das nach dem Prinzip der Stereoskopie 3D-Aufnahmen generiert, wurde aufgebaut und in Betrieb genommen. Es folgte eine Anzahl an 3D-Aufnahmen, um die Änderungen der Kameraparameter zu erfahren. Anschließend wurden die Punktwolken mit PCL visualisiert und bewertet.

Zudem wurde ein Drehteller angefertigt, auf dem die zu scannenden Körper positioniert werden können. Dadurch konnten weitere Untersuchungen stattfinden. Um eine vollständige Punktwolke zu generieren, wurde ein Programm entwickelt, das die Drehachse des Drehtellers (Positionierers) berechnet. Dadurch können die Einzelaufnahmen aus verschiedenen Winkeln bei feststehendem 3D-Scanner zusammengeführt werden.

Nachdem eine Reihe von Punktwolken diverser Scanobjekte erstellt wurden, folgte die Ausarbeitung und Bewertung verschiedener Methoden, mit denen die Oberflächen primitiver Geometrien beschrieben werden können. Letztendlich war die Prozesssicherheit, hinsichtlich der Automatisierung, bei einer Methode ausreichend gegeben. Die Oberflächen

von Geometrien wie Quader und Zylinder sowie Kombinationen der Körper wurden erfolgreich beschrieben.

Zur Reinigung der Objekte wurden Roboterbahnen auf der Oberfläche erzeugt. Diese sind zunächst gradlinige Bahnen bestehend aus Start- und Zielpose. Die Posen werden abgespeichert und in das Programm zur kollisionsfreien Ansteuerung des Industrieroboters geladen und simuliert. Hier werden die Roboterbahnen in den entsprechenden Roboterprogrammcode umgewandelt.

Zur besseren Ergebniskontrolle wurde ein Werkzeug an dem Roboter simuliert, das mit einem bestimmten Anstellwinkel die Reinigung der Objektoberfläche veranschaulicht.

Nach Lieferung des Industrieroboters und Positionierers wurde die Versuchsanlage aufgebaut und in Betrieb genommen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Die genannten Arbeitspakete werden weiterbearbeitet.

Die benötigten Daten zur Einmessung der Versuchsanlage sind aufzunehmen und einzupflegen. Die entwickelten Programme werden auf die Versuchsanlage angepasst. Zudem wird die Erstellung der Punktwolke mithilfe des Positionierers automatisiert. Anschließend werden die Programme auf dem realen Roboter ausgeführt und verglichen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bisher keine

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018		Förderkennzeichen: 15S9403C	
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RST GmbH			
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Automatisierte Dekontaminationskabine für den Einsatz beim Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilvorhaben: Entwicklung und Konstruktion einer vollautomatisierten Dekontaminationskabine mittels Hochdruckwasserstrahlen			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2018 bis 31.12.2019		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 153.410,59 €	
Projektleiter/-in: Matthias Finkenber		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: m.finkenber@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
100.10.20	Ermittlung typischer Bauteile
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 (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

WBS 60.50, 60.60.20, 60.70:

Das Pflichtenheft der Gesamtanlage wurde fertig gestellt und in die KM-Plattform importiert. Mögliche Änderungen im Pflichtenheft der Gesamtanlage, die sich aus Ergebnissen nachgelagerter Arbeitspakete ergeben, können fortlaufend nachgepflegt werden.

Generelle Anforderungen aus Kundensicht sind auf Basis von vorliegenden Anforderungsprofilen früherer Anfragen und Projekte in das Pflichtenheft mit eingeflossen. Mögliche spezielle, hiervon abweichende, Anforderungen an die Gesamtanlage aus Kundensicht werden noch ermittelt. Hierfür ist unter anderem die Teilnahme an einem Symposium im März 2019 geplant, bei dem Gesprächspartner von potentiellen Kunden und Betreibern gezielt befragt werden sollen.

Das Arbeitspaket „Leistungsgrenzen des Gesamtsystems“ ist in die zwei Themenblöcke „technische Leistungsgrenzen“ und „Performance-Grenzen“ unterteilt worden. Erstere sind analysiert worden und die Ergebnisse sind in das Pflichtenheft der Gesamtanlage eingeflossen. Die Performance-Grenzen müssen, auch in Abhängigkeit der ersten modellhaften Versuchsergebnisse, noch ermittelt bzw. definiert werden.

WBS 140.10:

Auf Grundlage des Pflichtenheftes ist damit begonnen worden, die zur zukünftigen Herstellung der Dekontanlage benötigten, Einzelkomponenten zu spezifizieren und auszuwählen. Zum Teil sind diese Komponenten bereits bei potentiellen Unterlieferanten angefragt worden, um eine Preisindikation zur späteren Kostenschätzung (AP 140.70) zu erhalten.

WBS 140.70:

Es ist eine auf Microsoft Excel basierende Kalkulationsvorlage, zur Ermittlung der Herstellkosten, erstellt worden. Einmalige Entwicklungskosten, welche bei der Planung und Fertigung einer erstmaligen Prototypenanlage noch entstehen werden, können hierbei separat ausgewiesen werden. Somit können die Herstellkosten für eine zukünftige Standard-Dekontanlage mit Seriencharakter abgeleitet werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

WBS 60.60.20, 60.70:

Die Expertengespräche hinsichtlich der Kundenanforderungen an das Gesamtsystem sind für das o.g. Symposium geplant. Basierend auf den Ergebnissen dieser Gespräche und nach einem Abgleich mit dem Pflichtenheft werden die Leistungsgrenzen des Gesamtsystems definiert. Diese können in Abhängigkeit der Zwischenergebnisse der anderen Teilprojekte bei Bedarf fortlaufend angepasst werden.

WBS 140.10:

Die Spezifizierung und Auswahl der Einzelkomponenten soll bis Ende April 2019 abgeschlossen sein. Die Ausführung der konzeptionell bislang noch nicht ausdetaillierten Baugruppen ‚*Bauteilaufnahme /-befestigung*‘ und ‚*Transport des Bauteils in die Kabine*‘ ist bis dahin geklärt.

WBS 140.20:

Basierend auf den Ergebnissen des Arbeitspaketes 60.30 des iUS Teilprojektes TP-3 wird das aktuelle Konzept mit den Anforderungen aus dem Schutzkonzept abgeglichen und verfahrenstechnisch und konstruktiv entsprechend implementiert.

WBS 140.70:

Die in AP 140.10 spezifizierten Einzelkomponenten werden, zwecks einer ersten Abschätzung der Materialkosten, sukzessive in die Kalkulationsvorlage übernommen. Anschließend werden Soll-Stunden-Kontingente für die Detailkonstruktion der Prototypenanlage kalkuliert und die Soll-Stunden-Kontingente für Engineering und Fertigung der Anlage bei Seriencharakter abgeschätzt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es besteht weiterhin kein Bezug zu anderen Vorhaben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum (2.HJ 2018) haben keine weiteren, über die im ersten Halbjahresbericht genannten, Berichte und Veröffentlichungen stattgefunden.

Berichtszeitraum: 01.12.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9409A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V.	
Vorhabenbezeichnung: VP:Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen TP:Berechnung der Neutronenfluenzverteilung in reaktornahen Bauteilen und deren Validierung an Experimenten als Basis der Aktivitätsrechnungen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2018 bis 30.11.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 754.606,65 €
Projektleiter/-in: Jörg Konheiser	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: j.konheiser@hzdr.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Verbundvorhabens ist es, eine standardisierte Methode zu entwickeln, die auf Basis der Leistungsgeschichte eines Kernreaktors die anlagenspezifische Aktivierung und deren zeitliche Veränderung für Reaktorkomponenten und reaktornahe Beton- bzw. Konstruktionselemente berechnet.

Damit ist eine zerstörungsfreie und frühzeitige radiologische Charakterisierung im Bereich der gesamten Reaktor Umgebung möglich, die für eine optimale Planung und Durchführung der Rückbaumaßnahmen benötigt wird. Dieses könnte wesentlich zu einer Minimierung des radioaktiven Abfalls und der Strahlenbelastung des Personals beim Rückbau beitragen. Die Methode wird am Beispiel eines Konvoi-Druckwasserreaktors entwickelt und an Experimenten validiert. Das Verbundprojekt besteht aus zwei Teilprojekten.

In diesem Teilvorhaben werden die dafür benötigten genauen 3D Neutronenfluenzrechnungen durchgeführt. Für solche Simulationen mit komplizierten Geometrien ist die Monte-Carlo Methode ein anerkanntes Verfahren. Zum Einsatz im Projekt kommt deshalb hauptsächlich das international viel verwendete Programm MCNP6. Für das Erstellen des Geometriemodells werden Originalkonstruktionsunterlagen verwendet. Als Referenzkraftwerk wird Grohnde (Vor-Konvoi Anlage) genutzt. Die Neutronenquelle wird, basierend auf entsprechenden Leistungsgeschichten, als äußere Quelle vorgegeben. Die benötigten Daten dafür werden vom Betreiber bereitgestellt. Wegen der großen räumlichen Dimensionen muss ein Schwerpunkt der Arbeiten in der Optimierung der Simulation liegen. Die Nutzung von Varianzreduzierenden Methoden wird dabei unerlässlich sein.

Zur Validierung der Rechenergebnisse werden Neutronenfluenzmessungen auf Basis von Aktivierungsfolien im KKW Grohnde durchgeführt. Zusätzlich sind Messungen in Isar II und Brokdorf geplant. An ausgewählten Stellen werden verschiedene Folien in Reaktornähe installiert und während eines Betriebszyklus bestrahlt. Die erzeugten Aktivitäten werden mit den Rechenergebnissen verglichen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Realisierung des Vorhabens erfolgt in mehreren aufeinander abgestimmten Arbeitspaketen (AP). AP 1 (teilweise), 2 und 3 werden in diesem und AP 4 und 5 im anderen Teilprojekt bearbeiten.

AP 1: Erstellung des Geometriemodells

AP 2: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung und deren Spektren

- Neutronenquelltermberechnungen
- Berechnung der Neutronenfluenzspektren für die Reaktoreinbauten, den Druckbehälter und die reaktornahen Bauteile

AP 3: Neutronenfluenzmessungen

Neutronenfluenzmessungen werden auf Basis von Aktivierungsfolien durchgeführt. In Absprache mit den Betreibern (PreussenElektra) werden an ausgesuchten und zugänglichen Stellen verschiedene Aktivierungsfolien installiert und innerhalb eines Zyklus bestrahlt. Mittels Gammaskopimetrie oder anderer Methoden werden die entstandenen Aktivitäten gemessen und zur Validierung der Rechnungen genutzt.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 1: Als Vorleistung zum Projekt wurde im Archiv vom KKW Grohnde Originalkonstruktionsunterlagen gesichtet und für die Rechnungen relevante Daten gesammelt. Dabei handelt es sich vor allem um Zeichnungen der biologischen Abschirmung insbesondere der Konstruktionen oberhalb der inneren Abschirmung. Hier befinden sich die Durchführungen der Hautumwälzleitungen. Eine exakte Darstellung dieses Bereiches ist sehr wichtig, um mögliche Strömungswege für Neutronen zu lokalisieren.

AP 2: Mit dem Betreiber des KKW Grohnde wurden die Möglichkeiten der Bestimmung der Quelle mit Hilfe von Abbrandrechnungen eruiert. In einem ersten Schritt sollen die Quelle auf Basis von Abbrandwerten und den daraus resultierenden Spaltisotopkonzentrationen für die einzelnen Brennelemente pinweise berechnet werden. Diese Werte werden standardmäßig für 32 Höhenschichten pro Brennelement innerhalb des Programms bestimmt. Entsprechende Rechnungen mit SIMULATE 5 wurden bereits durchgeführt und ein entsprechender Datensatz (170 MB) übergeben.

AP 3: Erste Absprachen mit den verantwortlichen Mitarbeitern des Stahlschutzes zur Planung und Vorbereitung der Monitorierung im KKW Grohnde wurden getroffen.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 1: Erstellung des Geometriemodells bis zur biologischen Abschirmung.

AP 2: Auf Basis der übergebenen Daten wird versucht entsprechende Quelldaten zu erzeugen. Die Entwicklung entsprechender Programme wird begonnen.

AP 3: Monitorierung im KKW Grohnde. Vorbereitung der Neutronenfluenzmessungen in Isar II.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.12.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9409B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWTH Aachen, Institut für Nukleare Entsorgung und Techniktransfer (NET)	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen“ – EMPRADO Titel des Teilprojekts: Entwicklung und Anwendung einer Methode zur genauen Berechnung der Aktivitäts- und Dosisleistungsverteilung von KKW für optimalen Rückbau	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2018 bis 30.11.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 694.085,52 €
Projektleiter/-in: Dr. Frank Charlier	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: charlier@net.rwth-aachen.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Verbundvorhabens ist es, eine standardisierte Methode zu entwickeln, die auf Basis der Leistungsgeschichte eines Kernreaktors die anlagenspezifische Aktivierung und deren zeitliche Veränderung für Reaktorkomponenten und reaktornahen Beton- bzw. Konstruktionselemente berechnet. Damit wäre eine zerstörungsfreie und frühzeitige radiologische Charakterisierung von Gebäudeteilen im Bereich des Reaktorkerns möglich. Ein weiteres Ziel des Projektes ist die Bestimmung des aus der Aktivierung resultierenden Strahlenfelds, welches schließlich den radiologischen Status einer Rückbaumaßnahme definiert und einen zentralen Aspekt beim Rückbau eines Kernreaktors darstellt.

Das vorliegende Forschungsprojekt verfolgt drei wesentliche Ziele:

- Minimierung des radioaktiven Abfalls durch detaillierte Quantifizierung und Charakterisierung bereits vor dem Rückbau.
- Optimierung der Strahlenschutzmaßnahmen zur Minimierung der Strahlenbelastung des Personals beim Rückbau und der Entsorgung.
- Optimale Planung und Durchführung von Rückbaumaßnahmen.

Der Titel des Teilprojektes der RWTH Aachen lautet:

Entwicklung und Anwendung einer Methode zur genauen Berechnung der Aktivitäts- und Dosisleistungsverteilung von KKW für optimalen Rückbau.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Realisierung des Verbundvorhabens erfolgt in mehreren aufeinander abgestimmten Arbeitspaketen (AP). Die AP 2 und 3 werden im Teilprojekt der RWTH Aachen, Institut für Nukleare Entsorgung und Techniktransfer (NET) und AP 4 und 5 im anderen Teilprojekt bearbeitet durch das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V. (HZDR), Institut für Ressourcenökologie (IRE). Das AP1 ist in Beiden Teilprojekten enthalten.

- AP 1: Erstellung des Geometriemodells
- AP 2: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung und deren Spektren
 - 2.1: Neutronenquelltermberechnungen

- 2.2: Berechnung der Verteilung
- AP 3: Neutronenflussmessungen zur Modellvalidierung
- AP 4: Berechnung der Aktivitätsverteilung
 - 4.1: Erstellung anlagenspezifischer Aktivierungsquerschnittsdateien
 - 4.2: Berechnung der Aktivitätsverteilung in den einzelnen Strukturen
- AP 5: Bestimmung der Ortsdosisleistungsverteilung (ODL)
 - 5.1: Bestimmung der Energie- und ortsabhängigen Strahlenquellterme
 - 5.2: Simulation des Strahlenfelds und der ODL-Verteilung

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 1: Erstellung des Geometriemodells: Im Hinblick auf die Entwicklung eines detaillierten Anlagenmodells als Gegenstand des AP1 wurden die Konstruktionsunterlagen des KKW Grohnde mit den einzelnen Bauteilen und Strukturen recherchiert, um festzustellen nach welchem Verfahren der gesamte Aufbau und die strukturelle Anordnung der einzelnen Bauteile in das MCNP-relevante Geometriemodell umgewandelt kann. Aufgrund fehlender CAD-Dateien stellte sich heraus, dass die Erstellung des komplexen Geometriemodells für MCNP-Berechnungen in 2-3 aufeinander folgenden Stufen, in denen der Detaillierungsgrad schrittweise erhöht wird, zu realisieren ist. Demensprechend wurde in dem einmonatigen Berichtszeitraum in Anlehnung an den schematischen Aufbau eines typischen DWR ein CAD-Modell und darauf aufbauend ein MCNP-Basismodell mit den Außencorestrukturen erstellt (vom Kernbehälter bis zur äußeren Betonabschirmung). Die Umwandlung des CAD-Modells in das Geometriemodell für MCNP-Berechnungen erfolgte mit dem Programm McCAD.

4. Geplante Weiterarbeit

AP1: Unter Zugrundelegung der Konstruktionszeichnungen wird das MCNP-Basismodell erweitert, wobei die einzelnen Bauteile der Anlage und deren innerer Aufbau bis zum äußeren Bioschild mit hohem Detaillierungsgrad modelliert werden. Das erweiterte hochaufgelöste Geometriemodell bildet die Grundlage für die eigentliche Neutronenflussberechnung, welche im Rahmen des ersten Teilprojekts (AP2) mit dem Monte-Carlo-Programm MCNP erfolgt.

AP4: Zur Durchführung 3-dimensionaler Aktivierungsberechnungen werden im Allgemeinen die in die Datenbibliothek des Programms ORIGEN integrierten Standard-wirkungsquerschnitte (isotopenspezifische Eingruppenwerte) verwendet. Im Unterschied dazu wird in der nächsten Projektphase eine Programmroutine entwickelt, welche unter Anwendung der Ergebnisse der Spektralberechnungen (aus AP2) und der ENDF-Daten die ersten anlagenspezifischen Querschnittsdateien für GROHNDE generiert und in die ORIGEN-Bibliothek für Aktivierungsberechnungen integriert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es handelt sich hierbei um das Teilprojekt eines Verbundprojekts, im Rahmen dessen wechselseitiger Bezug zwischen den Teilprojekten besteht.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9225A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Nukleare Entsorgung (INE), Hermann-von-Helmholtz Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	
Vorhabenbezeichnung: „Magnet-Separation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen“ (MASK)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2015 bis 31.05.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 629.574,00 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. S. Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Eine Zerlegetechnik, 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):

- AP 1: Grundlagenuntersuchung zur analytischen Betrachtung des Filtrvorgangs (TMB)
- AP 2: Detaillierte Analyse der getrennten Fraktionen und Ermittlung der zu erwartenden Restaktivität (INE)
- AP 3: Anpassung der Pilotanlage zur Untersuchung der Einflussfaktoren (TMB)
- AP 4: Durchführung der Parameteruntersuchung (TMB)
- AP 5: Iterative Optimierung des Verfahrens (TMB/INE)
- AP 6: Erprobung des Verfahrens mit inaktivem Material (INE/TMB)
- AP 7: Dokumentation der Ergebnisse (TMB/INE)

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

Seitens des TMB wurden im Berichtszeitraum die Arbeitspakete AP 3 und AP 4 sowie zusammen mit dem INE die Arbeitspakete AP 2, AP 5 und AP 6 bearbeitet:

Die zusammen mit dem INE entwickelten Verfahrensschritte „nasssieben“ und „filtern“ (AP 3 und AP 4), wurden nach der Funktionsprüfung und Inbetriebnahme im Verbund mit einem Abrasiv-Stahl-Korngemisch aus dem Vorgängerprojekt NENAWAS (das noch ausreichend zur Verfügung steht und den austenitischen Stahl 1.4307 enthält) getestet (AP 6). Zur Bewertung der Einzelkomponenten im Verbundbetrieb wurden Versuche durchgeführt. Dabei wurden die maximale Beladung des Siebs, die Siebdauer und der maximale Volumenstrom untersucht. Das Nasssieb wurde vom TMB mit einem druckluftbetriebenen Rotationsvibrator ausgestattet. Der Verschluss des Siebgehäuses wurde verbessert. Dadurch lässt sich das Sieb einfacher wechseln und ermöglicht eine größere Dichtung im Siebgehäuse zu verwenden. Durch die neue Dichtung kann im Sieb ein größerer Unterdruck erzeugt werden, wodurch der Durchsatz im Siebgehäuse steigt (AP 5). Das gemeinsam mit dem INE entwickelte Magnetfiltersystem wurde zur besseren Durchmischung mit einem Luftrührer ausgestattet (AP 5), da sich auf Grund der niedrigen Durchflussgeschwindigkeit der Suspension die Abrasivpartikel oben auf den Extraktorrohren ablagerten und so die Anziehung der Stahlpartikel behinderte. Weiterhin hafteten auf der Unterseite der Extraktorrohre nach dem Spülvorgang (Permanentmagnete gezogen) noch Stahlpartikel. Der Luftrührer besteht aus einer Rohrleitung, die abgedichtet von oben in das Magnetfiltersystem eingeführt ist und bis in die Mitte des unteren Magnetrosts geführt wurde. Der Luftvolumenstrom (Intensität der Luftrührung) kann über Handarmaturen eingestellt bzw. abgesperrt werden und verhindert effektiv die Ablagerung von Abrasivpartikeln bzw. von Stahlpartikeln beim Spülen des Magnetfiltersystems. Die Spülwassermenge beträgt bei Unterstützung mit Rührluft ca. 5 l, ohne Luftunterstützung wurde mehr als das doppelte benötigt (AP 3, AP 4 und AP 6). Da eine geringere Menge an Spülwasser nötig ist, konnte der Koppelbehälter zum Auffangen der Stahlspäne und des Spülwassers kleiner dimensioniert werden. Der Einsatz des Pulsationsdämpfers (Planung und Ausführung INE AP 6) für die Membranpumpe ist nach ersten Abschätzungen für alle Betriebsarten mit der MASK-Versuchsanlage notwendig, um Druckschwankungen an den Plexiglas-Komponenten und den Schlauchverbindungen zu vermeiden. Zur Sicherheit wurde die absperrbare Entlüftungsleitung des Magnetfiltersystems in den Rührbehälter mit einer Sicherheitsarmatur (Überströmventil) überbrückt.

2) Numerische Untersuchungen: AP 3+4

Der Entwicklungsplan wurde weiter erarbeitet. Zudem wurde das Magnetfeld der Magnetstäbe ausgemessen und in das CFD-Programm übernommen. Erste Simulation des Separationsprozess der Stahlpartikel wurde erstellt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu den Arbeitspaketen)

Bis zum 31.05.2019 sind vom TMB Arbeiten zu den Arbeitspaketen AP 5, AP 6 und AP 7 sowie gemeinsame Weiterarbeiten mit dem INE zu AP 3 und AP 4 geplant.

- Orientierende Experimente mit Korrosionsinhibitoren und anschließende mikroskopische Untersuchungen zur Wirksamkeit (AP 5).
- Ermittlung der Spülwassermenge zur Spülung des Koppelbehälters in das Probengefäß (AP 6).
- Ermittlung der Auswirkungen des druckluftbetriebenen Rotationsvibrators auf das Trennverhalten beim Nasssiebbetrieb der MASK-Versuchsanlage (AP 6).
- Versuche mit inaktiven austenitischen Korngemischen (aus der Herstellung bei ANT in Lübeck vom Oktober 2016) zur Ermittlung der Betriebsparameter für die einzelnen Prozessschritte (AP 5). Proben aus Separationsversuchen werden chemisch und mikroskopisch am INE analysiert (AP 2).
- Demontage und Untersuchung aller verbauten Komponenten auf Abrieb durch Abrasiv bzw. Ansammlung vom Korngemisch in Toträumen.
- Feststellung eventuell notwendiger Änderungen auf Grund der Ergebnisse aus den ersten Versuchen mit inaktiven austenitischen Korngemischen (AP 3).
- Dokumentation und Präsentation der Ergebnisse (AP 7).

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

2) Numerische Untersuchungen: AP 4+5

Das Simulationsprogramm und die Analyse sollen fertiggestellt werden. Die Ergebnisse der numerischen und experimentellen Untersuchungen werden in dem Abschlussbericht zusammengefasst.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

„Presentation of a separation method for the reduction of secondary waste from the waterjet abrasive suspension cutting technique“, Vortrag, DEM 2018 (France, Avignon 2018, Oktober 22-24).

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9225B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Nukleare Entsorgung (INE), Hermann-von-Helmholtz Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	
Vorhabenbezeichnung: „Magnet-Separation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen “ (MASK)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2015 bis 31.05.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 458.909,50 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Horst Geckeis	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: horst.geckeis@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Eine Zerlegetechnik, 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):

- AP 1: Grundlagenuntersuchung zur analytischen Betrachtung des Filtrervorgangs (TMB)
- AP 2: Detaillierte Analyse der getrennten Fraktionen und Ermittlung der zu erwartenden Restaktivität (INE)
- AP 3: Anpassung der Pilotanlage zur Untersuchung der Einflussfaktoren (TMB)
- AP 4: Durchführung der Parameteruntersuchung (TMB)
- AP 5: Iterative Optimierung des Verfahrens (TMB/INE)
- AP 6: Erprobung des Verfahrens mit inaktivem Material (INE/TMB)
- AP 7: 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 5 und AP 6 sowie zusammen mit dem TMB die Arbeitspakete AP 3 und AP 4 bearbeitet:

Im Rahmen von AP 2 wurden im INE chemische Analysen und elektronenmikroskopische Untersuchungen, begleitend zu den Versuchen mit inaktiven Korngemischen aus AP 6, durchgeführt. Die zusammen mit dem TMB entwickelten Verfahrensschritte „nasssieben“ und „filtrieren“ (AP 3 und AP 4), wurden nach der Funktionsprüfung und Inbetriebnahme im Verbund mit einem Abrasiv-Stahl-Korngemisch aus dem Vorgängerprojekt NENAWAS (das noch ausreichend zur Verfügung steht und den austenitischen Stahl 1.4307 enthält) getestet (AP 6). Zur Bewertung der Einzelkomponenten im Verbundbetrieb wurden insgesamt fünf Versuche durchgeführt. Der von INE ausgewählte Beutelfilter wurde nach den Betriebskampagnen untersucht. Im unteren Teil des Beutelfiltergehäuses wurden Abrasivablagerungen und ca. 160 ml Wasser gefunden, die konstruktionsbedingt nicht über die Entwässerungsleitung in den Rührbehälter zurückfließen konnten. Das Beutelfiltergehäuse wurde überarbeitet und kann jetzt vollständig entleert werden. Weiterhin wurde der Filterbeutel mit einer zusätzlichen Dichtung gegen das Beutelfiltergehäuse versehen. Das Nasssieb wurde von TMB mit einem druckluftbetriebenen Rotationsvibrator ausgestattet. Das gemeinsam mit dem TMB entwickelte Magnetfiltersystem wurde zur besseren Durchmischung mit einem Luftrührer ausgestattet (AP 5), da sich auf Grund der niedrigen Durchflussgeschwindigkeit der Suspension die Abrasivpartikel oben auf den Extraktorrohren ablagerten und so die Anziehung der Stahlpartikel behinderte. Weiterhin hafteten auf der Unterseite der Extraktorrohre nach dem Spülvorgang (Permanentmagnete gezogen) noch Stahlpartikel. Der Luftrührer besteht aus einer Rohrleitung, die abgedichtet von oben in das Magnetfiltersystem eingeführt ist und bis in die Mitte des unteren Magnetrosts geführt wurde. Der Luftvolumenstrom (Intensität der Luftrührung) kann über Handarmaturen eingestellt bzw. abgesperrt werden und verhindert effektiv die Ablagerung von Abrasivpartikeln bzw. von Stahlpartikeln beim Spülen des Magnetfiltersystems. Die Spülwassermenge beträgt bei Unterstützung mit Rührluft ca. 5 Liter, ohne Luftunterstützung wurde mehr als das doppelte benötigt (AP 3, AP 4 und AP 6). Der Einsatz des Pulsationsdämpfers (Planung und Ausführung INE AP 6) für die Membranpumpe ist nach ersten Abschätzungen für alle Betriebsarten mit der MASK-Versuchsanlage notwendig, um Druckschwankungen an den Plexiglas Komponenten und den Schlauchverbindungen zu vermeiden. Zur Sicherheit wurde die absperrbare Entlüftungsleitung des Magnetfiltersystems in den Rührbehälter mit einer Sicherheitsarmatur (Überströmventil) überbrückt. Die Bedienungsanleitung und die Fließbilder für die Betriebsarten mit dem MASK-Versuchstand wurden vom INE entsprechend angepasst bzw. erstellt (AP 6).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu den Arbeitspaketen)

Bis zum 31.05.2019 sind vom INE Arbeiten zu den Arbeitspaketen AP 2, AP 5, AP 6 und AP 7 sowie gemeinsame Weiterarbeiten mit dem TMB zu AP 3 und AP 4 geplant.

- Orientierende Experimente mit Korrosionsinhibitoren und anschließende mikroskopische Untersuchungen zur Wirksamkeit (AP 5)
- Ermittlung der Spülwassermenge zur Spülung des Koppelbehälters in das Probengefäß (AP 6).
- Ermittlung der Auswirkungen des druckluftbetriebenen Rotationsvibrators auf das Trennverhalten beim Nasssiebbetrieb der MASK-Versuchsanlage (AP 6).
- Versuche mit inaktiven austenitischen Korngemischen (aus der Herstellung bei ANT in Lübeck vom Oktober 2016) zur Ermittlung der Betriebsparameter für die einzelnen Prozessschritte (AP 5). Proben aus Separationsversuchen werden chemisch und mikroskopisch am INE analysiert (AP 2).
- Demontage und Untersuchung aller verbauten Komponenten auf Abrieb durch Abrasiv bzw. Ansammlung vom Korngemisch in Toträumen.
- Feststellung eventuell notwendiger Änderungen auf Grund der Ergebnisse aus den ersten Versuchen mit inaktiven austenitischen Korngemischen (AP 3).
- Dokumentation und Präsentation der Ergebnisse (AP 7).

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

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

„Presentation of a separation method for the reduction of secondary waste from the waterjet abrasive suspension cutting technique“, Vortrag, DEM 2018 (France, Avignon 2018, Oktober 22-24).

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9266A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Forschungszentrum Jülich GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2016 bis 31.05.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 728.115 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Giuseppe Modolo	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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-5 (Konversionsverfahren), AP-8 (Freigabemessungen) und AP-12 (Immobilisierung) behandelt. Im Rahmen von AP-8 wurde in enger Zusammenarbeit mit AiNT das Konzept für mögliche Freigabemessungen erstellt und die Durchführbarkeit an echten Proben aufgezeigt. Der gamma-spektrometrische Messaufbau wurde mittels MCNP[®] simuliert und anhand der Messung von Referenzstrahlern validiert. Diese simulativen Arbeiten wurden im Rahmen eines F&E-Aufenthaltes von Frau Klaß bei AiNT durchgeführt. Mittels MCNP[®] konnte für die Messungen eine Effizienzkalibrierung erstellt und anschließend anhand realer Messwerte von Quecksilberproben die Möglichkeit einer Freigabe nachgewiesen werden.

Im Rahmen der experimentellen Arbeiten wurde hierfür zunächst exemplarisch eine komplette Probe (ca. 3 kg) der Jülicher Quecksilberabfälle aus den ehemaligen Chemiezellen dekontaminiert. Dies erfolgte mechanisch durch eine Filtration und eine anschließende Phasentrennung zwischen Quecksilber und aufschwimmenden Verunreinigungen, wodurch der Großteil der Verunreinigungen vom elementaren Quecksilber abgetrennt werden konnte. Dies zeigt die grundsätzliche Anwendbarkeit der Dekontaminationsverfahren im Rahmen von AP-7.

Die anschließende gamma-spektrometrische Messung dieser echten dekontaminierten Quecksilberproben aus den Jülicher Chemiezellen ergab einerseits, dass der Messaufbau die nötige Sensitivität aufweist um entsprechende Entscheidungsmessungen im Rahmen einer Freigabe durchzuführen. Andererseits wurde bei den bis zum jetzigen Zeitpunkt durchgeführten Messungen gefunden, dass zumindest ein Teil des Quecksilbers soweit dekontaminiert werden kann, dass eine Freigabe grundsätzlich möglich ist.

Insgesamt konnte so die grundsätzliche Durchführbarkeit von Dekontamination und Freigabemessungen an den hier untersuchten Abfallkontingenten gezeigt werden.

Im Rahmen von AP-5 erfolgen experimentelle Untersuchungen zur Konversion der nicht freigabefähigen, quecksilberhaltigen Rückstände in feste Verbindungen. Außerdem wird die Immobilisierung solcher Verbindungen in Zement sowie Geopolymeren untersucht (AP-12). Hierfür wurden verschiedene Probenkörper (Zement und Geopolymer) synthetisiert, in welche verschiedene Quecksilberverbindungen sowie inaktive Salze der bekannten radioaktiven Verunreinigungen eingebettet wurden. Diese werden noch umfassend strukturell charakterisiert (Rasterelektronenmikroskopie, Röntgendiffraktometrie, Thermogravimetrie, etc.). In Auslaugversuchen soll unter verschiedenen Bedingungen (v.a. simulierten Endlagerbedingungen) untersucht werden, wie sich diese Probenkörper unter Lösungszutritt verhalten.

Am IEK-6 wurde zum Beginn dieses Jahres eine Masterarbeit begonnen, die Mitte des Jahres 2019 abgeschlossen wird. Diese beschäftigt sich mit den hier beschriebenen Immobilisierungs- und Auslaugversuchen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im ersten Halbjahr 2019 werden im IEK-6 vor allem die Arbeiten in AP-5 (Konversionsverfahren) und AP-12 (Immobilisierung) weiter vertieft. Die Arbeiten in den anderen Arbeitspaketen sind weit fortgeschritten bzw. bereits abgeschlossen.

Zudem werden noch weitere Versuche in AP-8 durchgeführt. Konkret soll eine größere Anzahl an Proben gemessen werden, um eine konkretere Aussage über deren mögliche Freigabe treffen zu können.

Insbesondere werden in der verbleibenden Projektlaufzeit vor allem AP-5 (Konversionsverfahren) und AP-12 (Immobilisierung) behandelt. Hierbei wird vor allem die Einbettung der Rückstände in Zement und Geopolymere sowie das Auslagverhalten verschiedener Quecksilberverbindungen bei Lösungszutritt unter Endlagerbedingungen untersucht (AP-12). 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 18th 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>

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9266B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT)	
Vorhabenbezeichnung: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS)	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.06.2016 bis 31.05.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 381.901 Euro
Projektleiter/-in: Dr. Andreas Havenith	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 AP-12 ist AiNT nicht beteiligt. Diese Arbeitspakete werden alleine vom FZJ durchgeführt.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Das Arbeitspakete AP-3, AP-4, AP-8 und AP-10 wurde von AiNT abgeschlossen und dokumentiert. Die experimentellen Arbeiten in AP-6 sind abgeschlossen und werden derzeit von den Verbundpartnern zusammengefasst. Die Durchführbarkeit einer Dekontamination der Quecksilberabfälle im Labormaßstab anhand von mechanischer Abtrennung, Waschen sowie Vakuumdestillation konnte gezeigt werden. Im Berichtszeitraum wurde seitens AiNT an den Arbeitspaketen AP-9 und AP-11 gearbeitet.

Nachdem die gammaspektrometrische Messanlage seitens AiNT konzipiert und ausgelegt wurde (AP-8), erfolgte im Berichtszeitraum der weitere Betrieb der Messanlage durch FZJ. Ein Tätigkeitsschwerpunkt im Berichtszeitraum war die Entwicklung des administrativen Freigabeverfahrens gemäß der ab dem 01.01.2019 gültigen Strahlenschutzverordnung (siehe Freigabe geregelt in §§ 31 bis 42 StrlSchV, neu). Durch die Festlegung neuer Freigabewerte für Cs-137 ist es erforderlich, dass die Messanlage fünf Mal sensitiver sein muss als bei Projektbeginn avisiert. Das Gesamtkonzept wurde bzgl. dieser restriktiveren Anforderungen evaluiert. Auch die gesteigerten Sensitivitätsvorgaben können durch die Messanlage in vertretbaren Messzeiten (Zeitbedarf: Minuten bis eine Stunde) erzielt werden. Die administrativen und technischen Anforderungen bei der Durchführung von Entscheidungsmessungen mit der gammaspektrometrischen Messanlage wurden im Berichtszeitraum in einen Ablaufplan dokumentiert (AP-9). Der Entwurf des Ablaufplans „Aktivitätsmessungen für die Freigabe von radioaktivem Quecksilber oder quecksilberhaltigen radioaktiven Reststoffen“ wurde im Berichtszeitraum erstellt und derzeit wird weiter an der zugehörigen Verfahrensbeschreibung gearbeitet. Diese 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)

Des Weiteren wurde im Berichtszeitraum am Konditionierungskonzept für die radioaktiven Dekontaminationsrückstände gearbeitet (AP-11). Die Stofffraktion, die bei den Dekontaminationsverfahren mit Aktivität angereichert wird, muss endlagergerecht konditioniert werden. Hierzu wurde analysiert, in welche Matrix die Dekontaminationsrückstände eingebunden werden können, damit die Radionuklide möglichst immobilisiert werden und keine bzw. vernachlässigbare chemischen Reaktionen stattfinden. Die Vor- und Nachteile diverser Matrices für eine Endlagerung wurden einander gegenübergestellt. Hieraus abgeleitet wird vorgeschlagen, welche Matrix bzgl. Langzeitstabilität, Immobilisierung der Radionuklide, Radionuklidrückhaltung und Eignung für den Endlagerstandort geeignet ist. Das Konditionierungskonzept für die avisierte Qualifizierung der radioaktiven Abfälle wurde in einem Ablaufplan für das Endlager Konrad dargelegt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im ersten Halbjahr 2019 werden die Arbeitspakete AP-9, AP-11 und AP-12 bearbeitet. Mit Arbeitspaket AP-12 wird neu begonnen werden. Innerhalb von AP-12 wird ein Ablaufplan für die Verpackung der Dekontaminationsrückstände erstellt. Die Zielstellung dieses Ablaufplans, zusammen mit dem Ablaufplan für die Konditionierung, ist es, die Dekontaminations-rückstände bzw. nicht freigegebener Reststoffe endlagergerecht zu konditionieren, um diese in die Schachanlage Konrad zu verbringen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Larissa Klaß, Andreas Havenith et al.: Disposal concept and clearance procedure for radioactively contaminated mercury waste from the decommissioning of nuclear facilities, KONTEC 2019, Dresden, 27.-29. März 2019.

Larissa Klaß, Andreas Havenith et al.: Measurement Concept for a Possible Clearance of Mercury Waste from Nuclear Facilities, WM2019 Conference, Phoenix, Arizona, USA, March 3rd – 7th 2019.

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.

Dr. Andreas Havenith: Projektsteckbrief PROMETEUS - PROcess of radioactive MErcury Treatment under EU Safety-standards veröffentlicht auf der AiNT-Internetseite zum Projekt: <https://www.nuclear-training.de/forschungsprojekte-details/prometeus.html>

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9400
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Brenk Systemplanung GmbH, Heider-Hof-Weg 23, 52080 Aachen	
Vorhabenbezeichnung: Automatisierte, rechnergestützte Verpackungsplanung zur Reduzierung der Massen und Volumina der Abfallgebände für das Endlager Konrad	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2017 bis 31.10.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 258.244,13 €
Projektleiter/-in: Dr. Jörg Kaulard	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 Die Simulation einer ersten Verpackungsplanung zu realen Abfällen aus einer Forschungseinrichtung konnte abgeschlossen werden. Die Arbeiten zu einer zweiten Abfallkampagne wurden begonnen; hierbei wurde der Algorithmus weiterentwickelt. Parallel wurde Kontakt zu weiteren Abfallverursachern aufgenommen, um weitere Praxis-Beispiele in die Simulationen einbinden zu können.

AP 2 Für die erste durchgeführte Simulation ergibt sich aus der Simulation gegenüber der realen Verpackungsplanung eine um mindestens einen Konradcontainer (Typ III) geringere Containeranzahl.

AP 3 Gemäß angepasstem Arbeitsprogramm sind noch keine Arbeiten vorgesehen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1 Die im 2. HJ/2018 begonnenen bzw. fortgeführten Arbeiten werden fortgesetzt. Insbesondere werden die Berechnungen für weitere reale Abfallkampagnen durchgeführt.

AP 2 Nach Vorliegen weiterer Zwischenergebnisse aus AP 1 werden die Simulationsergebnisse mit den realen Verpackungsplanungen verglichen.

AP 3 Gemäß angepasstem Arbeitsprogramm sind keine Arbeiten vorgesehen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es besteht kein Bezug zu weiteren Fördervorhaben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine.

Berichtszeitraum: 01.08.2018 bis 31.01.2019	Förderkennzeichen: 15S9405A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Forschungszentrum Jülich GmbH – Institut für Energie- und Klimaforschung -Nukleare Entsorgung und Reaktorsicherheit- (IEK-6)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Konzeptstudie zur Entsorgung von aktiviertem Beryllium aus Forschungsreaktoren (KONEKT), Teilprojekt	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2018 bis 31.01.2020	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 232.675,- €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Dirk Bosbach	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: d.bosbach@fz-juelich.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens KONEKT ist es, Grundlagen für ein Entsorgungskonzept für bestrahltes Beryllium (Be) aus Forschungsreaktoren zu schaffen, um eine sichere und nachhaltige Entsorgung der in Deutschland anfallenden Mengen an Be-Abfällen zu gewährleisten sowie zum Erhalt der kerntechnischen Kompetenz für den Rückbau von Nuklearanlagen und der sicheren Entsorgung dabei anfallender Materialien beizutragen. Der Schwerpunkt der Arbeiten des Verbundprojektpartners FZJ-IEK-6 liegt dabei insbesondere auf der systematischen Analyse von potentiellen Verwertungs- und Behandlungsoptionen für bestrahltes Be und der Formulierung einer Roadmap für künftige FuE-Arbeiten zur Entwicklung eines sicheren Entsorgungskonzepts für bestrahltes Be.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Programm des Verbundvorhabens KONEKT gliedert sich in acht Arbeitspakete (AP 1 bis AP 8). Der Verbundprojektpartner FZJ-IEK-6 wird im Rahmen des Vorhabens KONEKT Beiträge zu den AP 2, 4 sowie 5 bis 8 leisten, die nachfolgend kurz zusammengefasst sind:

AP 2: In diesem AP wird der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik zu relevanten Eigenschaften von bestrahltem Be (insb. Radionuklidinventar, -verteilung und -bindungsformen), sowie dem Materialverhalten unter Zwischen- und Endlagerbedingungen (u. a. Freisetzungverhalten relevanter Radionuklide) analysiert.

AP 4: Der Schwerpunkt dieses AP liegt auf der Analyse möglicher Einsatzgebiete von bestrahltem bzw. dekontaminiertem Be im Bereich der Nuklearindustrie bzw. nach Freigabe einschließlich der Betrachtung von Randbedingungen und methodischen Aspekten einer Freigabe von dekontaminiertem Be.

AP 5: In diesem AP werden mögliche verfahrenstechnische Optionen zur Dekontamination von bestrahltem Be unter Berücksichtigung relevanter Randbedingungen aus den Bereichen Strahlenschutz, Umweltschutz und Arbeitssicherheit identifiziert und analysiert. Dabei wird der strahlenschutztechnische Mehraufwand einer Dekontamination im Vergleich zur (direkten) Endlagerung von bestrahltem Be berücksichtigt.

AP 6: Identifizierung und Analyse möglicher Strategien zur Konditionierung von radioaktiven Prozessrückständen oder nicht-dekontaminierbarem bestrahltem Be, unter Berücksichtigung

von Strahlenschutzaspekten und Materialverhalten sowie Radionuklidfreisetzung unter Zwischen- und Endlagerbedingungen.

AP 7: Identifizierung relevanter Wissenslücken und Erarbeitung einer "Roadmap" für weiterführende und zielgerichtete FuE-Arbeiten für eine nachhaltige und sichere Lösung der Entsorgungsproblematik für bestrahltes Be aus Forschungsreaktoren in Deutschland.

AP 8: Koordination des Vorhabens, Ergebnisdokumentation, Erstellung von Halbjahresberichten und Abschlussbericht.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 2: Die Literaturrecherche zu Eigenschaften von bestrahltem und unbestrahltem Be wurde begonnen. Dabei wurden Daten zu typischen Verunreinigungen in Be, typische Radionuklidinventare in bestrahltem Be, sowie zu Löslichkeit und thermodynamischen Daten unterschiedlicher Be Verbindungen, die bzgl. der weiteren AP relevant sind, gesammelt.

AP 4: Die Literaturrecherche und Diskussion über Verwertungsoptionen von dekontaminiertem Be wurde mit Unterstützung der Fa. Brenk Systemplanung als Unterauftragnehmer begonnen. Erste Ergebnisse wurden in dem Beitrag zur Kontec-2019 Konferenz zusammengefasst.

AP 5: Mögliche Verfahren zur Dekontamination von bestrahltem Be wurden in der aktuellen Literatur recherchiert. Die verfügbaren Methoden konnten in zwei Gruppen untergliedert werden: Methoden zu Hochtemperaturbehandlung, (Trennung basiert auf der unterschiedlichen Flüchtigkeit von Chloriden oder Fluoriden) und Methoden zur nasschemischen Trennung. Die Vor- und Nachteile, wie Reinheit des Endproduktes oder Menge an Sekundärabfall, wurden diskutiert.

AP 6: Konditionierungsmethoden für bestrahltes Be oder radioaktive Rückstände nach Dekontamination wurden geprüft. Darunter sind Einbindung in Zement, Bitumen, Glas, Phosphaten sowie direkte Entsorgung (ohne Konditionierung).

4. Geplante Weiterarbeit

AP 2: Weiterführung der Literaturrecherche und Zusammenfassung des kritischen Review „Kenntnisstand zu bestrahltem Be“.

AP 4: Weiterarbeit bzgl. methodischer Aspekte einer Freigabe von dekontaminiertem Be im Hinblick auf identifizierten Verwertungsoptionen werden nach Zuarbeit der Fa. Brenk Systemplanung.

AP 5: Betrachtung des strahlenschutztechnischen Mehraufwands einer Dekontamination in Vergleich zu Endlagerung von Be Abfällen.

AP 6: Die Anwendbarkeit von Konditionierungsmethoden im Hinblick auf Endlagerbedingungen des Endlagers Konrad wird nach Erhalt der Beiträge der Fa. Brenk Systemplanung analysiert und diskutiert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

EU Verbundvorhaben CEBAMA (2015-2019), BMBF Verbundvorhaben „Entsorgung von Beryllium und Cadmium aus Forschungsreaktoren“ (2001- 2006).

6. Berichte und Veröffentlichungen

Beitrag (full Paper) auf der Konferenz Kontec-2019 mit dem Titel „KONEKT: a concept study on the safe management of irradiated beryllium from research reactors“ (Geschäftszeichen 02S7951).

Berichtszeitraum: 01.08.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9405B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben KONEKT: Konzeptstudie zur Entsorgung von aktiviertem Beryllium aus Forschungsreaktoren; Teilvorhaben HZB: Inventarisierung und Randbedingungen zu Endlagerung von Bestrahltem Beryllium	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2018 bis 31.01.2020	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 123.358,75 €
Projektleiter/-in: Dr. Stephan Welzel	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: welzel@helmholtz-berlin.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist eine exakte Charakterisierung und Inventarisierung von bestrahltem Beryllium aus deutschen Forschungsreaktoren hinsichtlich der bestehenden Mengen und des Radionuklidinventars. Für den radioaktiven Sonderabfall Beryllium werden die Entsorgungssituation, mögliche Konditionierungskonzepte sowie Wiederaufbereitungsmöglichkeiten betrachtet.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Für die Durchführung der geplanten Arbeiten wurden acht Arbeitspakete (AP 1 bis AP 8) definiert. Der Verbundprojektpartner HZB hat im Rahmen des Vorhabens KONEKT zu folgenden Arbeitspaketen Beiträge geleistet:

- Arbeitspaket 1: Durchführung einer deutschlandweiten Bestandsaufnahme an bestrahlten Be aus Forschungsreaktoren und Bestimmung des radioaktiven Inventars. Detaillierte Be-Inventar Aufstellung des BER II; Durchführung einer welt- und europaweiten Bestandsaufnahme an bestrahlten Be.
- Arbeitspaket 2: Überprüfung des nationalen und internationalen Kenntnisstands hinsichtlich dem Umgang und Konditionierung von bestrahltem Be auf Grundlage vorhandener Literatur.
- Arbeitspaket 3: Detaillierte Analyse der Einlagerung von Beryllium in Schacht Konrad hinsichtlich DeklarationsSchwellenwert (DSW) und Beschreibungsschwellenwert (BSW); Analyse der Endlagerungsform von Be sowie der Einlagerungsmenge.
- Arbeitspaket 5: Analyse der, bei der Wiederaufbereitung von bestrahltem Be aus deutschen Forschungsreaktoren, anfallenden Kosten und des Zeitaufwands zur (direkten) Endlagerung von bestrahltem Be.
- Arbeitspaket 7: Prüfung der Einlagerung von Be bzw. Be-haltigen Abfallformen in Konrad im Sinne der gehobenen wasserrechtlichen Erlaubnis; Zuarbeiten zur Roadmap für weiterführenden FuE-Arbeiten zur Entsorgung von bestrahltem Be aus deutschen Forschungsreaktoren.
- Arbeitspaket 8: Erstellung von Halbjahresberichten und Abschlussberichten, Zuarbeit zum Synthesebericht.

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

Im Berichtszeitraum wurde das Arbeitspaket 1 bearbeitet. Es wurde eine Bestandsaufnahme des in Deutschland vorhandenen bestrahlten Berylliums durchgeführt sowie das Radionuklidinventar im Beryllium untersucht.

Zur Inventarisierung fanden Gespräche mit den übrigen ablieferungspflichtigen Forschungsreaktoren mit Berylliuminventar (VKTA, TUM, HZG) statt. Die Dokumentationen des Berylliums der eigenen Anlage sowie der weiteren Anlagen wurden im Hinblick auf die relevanten Eigenschaften des Berylliums ausgewertet. Dies umfasst neben den Massen und der Radiologie auch die chemischen Eigenschaften sowie die Bestrahlungshistorie der Beryllium-Elemente.

Für die Inventarisierung des Europa- und weltweit vorhandenen Nuklearberylliums wurden als Ausgangsbasis einerseits die Research Reactor Database (RRDB) der IAEA, andererseits schriftlich und telefonisch eingeholte Auskünfte der Reaktor-Betreiber verwendet. In Summe liegen bei den Forschungsreaktoren, für die bisher die Berylliummasse ermittelt werden konnte, europaweit ca. 6 Mg bestrahltes Beryllium vor. Insgesamt wird die Nuklearberyllium-Menge in Europa deutlich größer sein, da von ca. 2/3 der Forschungsreaktoren bisher keine Informationen vorliegen. Für Reaktoren außerhalb Europas liegen bisher lediglich aus Kanada und Brasilien Rückmeldungen vor, wobei ein Teil des Berylliums in Kanada bereits an die Endlagerbetreiber abgegeben wurde.

Die Ermittlung der Aktivierung des Berylliums des BER II erfolgte durch die Analyse einer MCNP-Rechnung, in welcher die Entstehung und der Zerfall von Radionukliden als Folge der abgelaufenen Bestrahlungszyklen bestimmt wurden.

Die Auswertung der MCNP-Simulation ergab für das gesamte im BER-II eingesetzte Beryllium in Summe aller Nuklide ein Jahr nach Abschaltung des Reaktors $3,3 \text{ E}+15 \text{ Bq}$. Die Aktivität wird dabei von Tritium und Co-60 dominiert. Die Tritiumaktivität ein Jahr nach Abschaltung des Reaktors wird gemäß der MCNP-Berechnung $3,2 \text{ E}+15 \text{ Bq}$ betragen. Das Radionuklid Co-60 ist mit einer Aktivität von $3,18\text{E}+13 \text{ Bq}$ das ODL-dominierende Nuklid und damit für Strahlenschutz Betrachtungen entscheidend. Am HZB wurde eine gammaspektrometrische Messung an einem abgeplatzten Berylliumstück (8 mg) durchgeführt. Durch diese Messung konnten die berechneten spezifischen Aktivitäten der MCNP-Rechnung verifiziert werden (Abweichung kleiner als ein Faktor 2). Neben diesen beiden Radionukliden liegt unter anderem das langlebige Kohlenstoff-Isotop C-14 mit einer Aktivität von $3,47\text{E}+12 \text{ Bq}$ im bestrahltem Beryllium vor, dessen hohe Aktivität für die Endlagerung im Endlager Schacht Konrad kritisch ist.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Rahmen des AP1 wird weiter versucht, von weiteren Forschungsreaktoren Informationen zu erhalten. Des Weiteren werden die Arbeitspakete 2 und 3 in den nächsten Monaten intensiv bearbeitet.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Kein Bezug zu anderen Vorhaben

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.09.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9406A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Framatome GmbH (Framatome)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM), Teilprojekt: Entwicklung und Bau der Messanlage	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.09.2018 bis 31.08.2021	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 657.634,30 Euro
Projektleiter/-in: Dr. Laurent Coquard	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: laurent.coquard@framatome.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

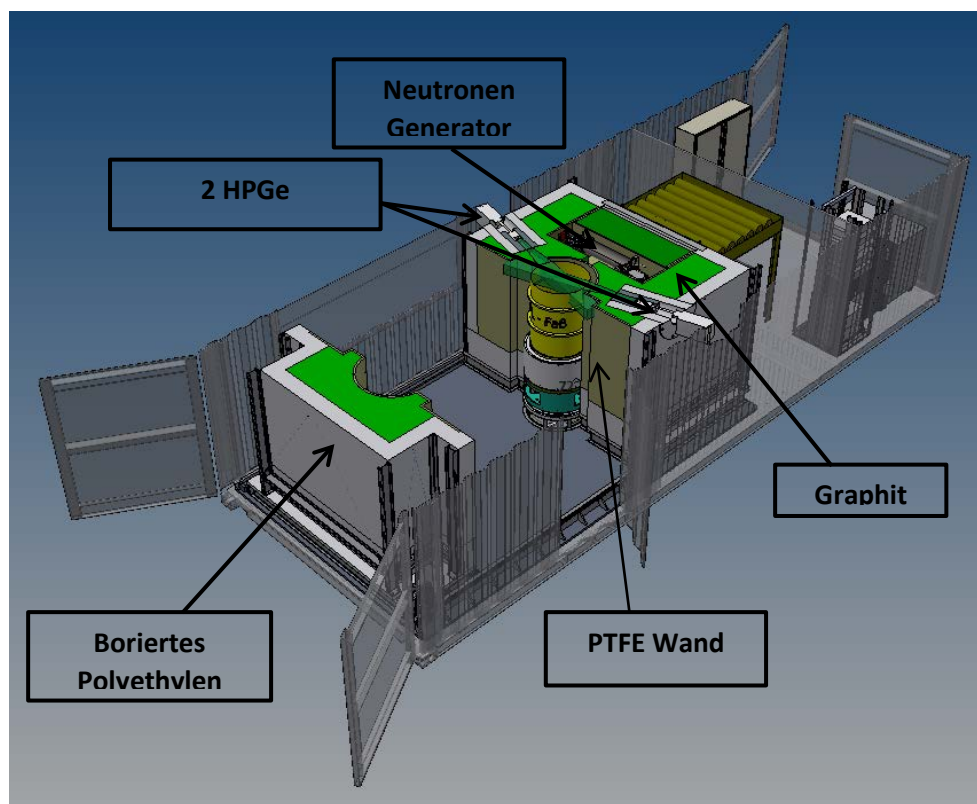
Die Kooperationspartner Framatome GmbH (Framatome), die Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) und das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen (FINT) haben sich zum Ziel gesetzt, die Prompt-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse (PGNAA) zur Charakterisierung radioaktiver Abfälle zu entwickeln und für Ablieferungspflichtige anwendbar zu machen. Die Zielstellung des Projektes ist dem Forschungsfeld „Zerstörungsfreie Deklaration bzw. Analyse von (Alt-)Abfällen“ zuzuordnen. Innerhalb des Projektes wird die Messanlage QUANTOM® für die zerstörungsfreie Überprüfung der stofflichen Beschreibung aufgebaut und erprobt. QUANTOM® wird zunächst im Strahlenschutzbauwerk von AiNT aufgebaut und getestet. Hiernach wird die Messanlage in einem Stahlblechcontainer integriert. Dies ermöglicht den Einsatz der Messanlage direkt dort, wo die Altabfälle gelagert oder konditioniert werden. Durch die raum aufgelöste stoffliche Analyse von 200-l-Fässern können im Endlagerungsverfahren KONRAD getätigte stoffliche Beschreibung von Abfallprodukten verifiziert und einfach ergänzt werden, wodurch die Nachqualifizierung von Altabfällen erleichtert wird und die Kosten für die nukleare Entsorgung reduziert werden. Anhand der Möglichkeit Abfallfässer mittels QUANTOM® zerstörungsfrei und ohne Neuverpackung zu analysieren wird die Strahlenexposition des Betriebspersonals im Vergleich zu einer zerstörenden Prüfung stark vermindert und eine Abfallvolumenvergrößerung vermieden. Der Tätigkeitsschwerpunkt von Framatome liegt in der konstruktiven Entwicklung und dem Bau und Betrieb der Messanlage. Die Zielstellung von AiNT liegt auf der Erforschung und Entwicklung von neuen Methoden für die PGNAA von großvolumigen Proben. Der Projektfokus von FINT liegt in der Messung des Neutronenflusses und des Neutronenspektrums innerhalb und außerhalb der Messanlage.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Arbeitspakete des Gesamtvorhabens, an denen Framatome beteiligt ist, sind: AP1 (Anlageauslegung, Konstruktion und Detailengineering), AP5 (Softwareentwicklung für Betrieb und Messdatenauswertung), AP7 (Methode zur Identifizierung chemischer Verbindungen), AP9 (Aufbau & Inbetriebnahme der stationären Messanlage), AP10 (Experimentelle Validierung mit verschiedenen Matrices), AP11 (Aufbau & Inbetriebnahme der mobilen Messanlage), AP13 (Experimentelle Validierung mit radioaktiven Abfällen).

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde seitens Framatome hauptsächlich in den Arbeitspaketen AP1 und AP5 gearbeitet. Die Entwicklung des konstruktiven Designs von QUANTOM erfolgte iterativ zwischen der Konstruktion (AP1) und der entsprechenden nuklearphysikalischen Simulation (AP3). Framatome und AiNT haben bei der 3D-Konstruktion eng zusammengearbeitet und hierfür in Dateien des Programms Autodesk Inventor gemeinsamen gearbeitet. Die nuklearphysikalischen Simulationen wurden seitens AiNT mit MCNP durchgeführt und dokumentiert. Ende Oktober lag ein technischer Konzeptentwurf und eine Spezifikation der Baugruppen vor, sodass der Meilenstein M1 termingerecht eingehalten wurde. Das „Basic Design“ der stationären Messanlage wurde festgelegt und ist auf dem beigefügten Bild zu sehen (Vertikaler Schnitt). Das Bild zeigt das Basic Design der stationären Messanlage, die mit Ihren Abmaßen später in einen 25-Fuß-Container integrierbar ist.



Die Spezifikation der Baugruppen war die Grundlage, um erste Bestellungen zu beauftragen (Neutronengenerator, HPGe-Detektoren, Graphit). Im Bereich der Leittechnik wurde das komplette Systemschaltbild inklusive Schnittstellendefinition, Geometrieerkennung, Datenablage und Sicherheitsmaßnahmen definiert. Die Bauteilauslegung der stationären Anlage ist abgeschlossen. Die entsprechenden Stromlaufpläne wurden erstellt. Die dazugehörige Stückliste wird stückweise ergänzt und die Komponenten schrittweise bestellt. Es wurde im AP5 ein Konzept für die Softwarearchitektur erstellt und die Verbundpartner haben eine Einigung bzgl. der Schnittstellen für die Datenverarbeitung und die Datenspeicherung in einer relationalen Datenbank getroffen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im ersten Halbjahr 2019 wird hauptsächlich das Arbeitspaket AP1 weiterbearbeitet. Die Komponente der Gammaabschirmung und das boriiertes Polyethylene werden abschließend spezifiziert, partitioniert, gezeichnet und bestellt. Anschließend können der Stahlkäfig und das Untergestell, sowohl für den festen Teil als auch für den beweglichen Teil, fertig ausgelegt werden. Zusätzlich wird die PTFE Innenwand konstruiert. In die PTFE-Innenwand werden Ausfräsungen für die von FINT selektierten Neutronendetektoren eingebracht. Die ersten Systemkomponenten (HPGe-Detektoren und Neutronengenerator) werden geliefert und Aufbaupläne zur Montage der Messanlage werden erstellt (z.B. für Graphit, PE aber auch für die gesamte Messanlage).

Im Bereich der Automatisierungstechnik werden die Komponenten für die stationäre Messanlage geliefert. Der entsprechende Schaltschrank wird in Erlangen bei Framatome angefertigt und getestet. Die Komponenten für die mobile Anlage (Kran, Fassförderung) werden weiterhin spezifiziert. Mit Arbeitspaket AP9 wird neu begonnen, nachdem der Neutronengenerator angeliefert wurde (April 2019). Als Erstes wird mit dem Neutronengenerator ein Funktionstest durchgeführt. Nachfolgend werden mit dem unverbauten Neutronengenerator Aktivierungsanalysen mit Kalibrierfolien zur Neutronenflussmessung durchgeführt. Hieraus abgeleitet kann die Neutronenemissionsrate des Neutronengenerator in Abhängigkeit der Betriebsparameter bestimmt werden. Es wird ein Konzept für die experimentelle Validierung mit verschiedenen Matrices (AP10) erstellt und begonnen Referenzmaterialien zu erwerben.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

In der nachfolgenden Auflistung werden die wissenschaftlichen Veröffentlichungen und sonstige projektbezogene Öffentlichkeitsarbeit aufgeführt.:

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: „**Stoffliche Beschreibung und Plausibilitätsprüfung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM**“, KONTEC 2019, Dresden, 27. - 29. März 2019.

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: “**QUANTOM - Non-destructive scanning of waste packages for material description and plausibility check**”, AMNT 2019, Berlin, 07. - 08. Mai 2019

Dr. Andreas Havenith et al.: **QUANTOM®-Non-destructive scanning of radioactive waste packages for material characterization**, ANIMMA 2019, Portorož (Slovenien), 17. - 21. Juni 2019.

Dr. Olaf Schumann et al.: **QUANTOM® - Optimization of the online neutron flux measurement system**, ANIMMA 2019, Portorož (Slovenien), 17. - 21. Juni 2019.

Berichtszeitraum: 01.09.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9406B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM), Teilprojekt: Methoden- und Softwareentwicklung	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.09.2018 bis 31.08.2021	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 621.605 Euro
Projektleiter/-in: Dr. Andreas Havenith	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: havenith@nuclear-training.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Kooperationspartner Framatome GmbH (Framatome), die Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) und das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen (FINT) haben sich zum Ziel gesetzt, die Prompt-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse (PGNAA) zur Charakterisierung radioaktiver Abfälle zu entwickeln und für Ablieferungspflichtige anwendbar zu machen. Die Zielstellung des Projektes ist dem Forschungsfeld „Zerstörungsfreie Deklaration bzw. Analyse von (Alt-)Abfällen“ zuzuordnen. Innerhalb des Projektes wird die Messanlage QUANTOM® für die zerstörungsfreie Überprüfung der stofflichen Beschreibung aufgebaut und erprobt. QUANTOM® wird zunächst im Strahlenschutzbauwerk von AiNT aufgebaut und getestet. Hiernach wird die Messanlage in einem Stahlblechcontainer integriert. Dies ermöglicht den Einsatz der Messanlage direkt dort, wo die Altabfälle gelagert oder konditioniert werden. Durch die raum aufgelöst stoffliche Analyse von 200-l-Fässern können im Endlagerungsverfahren KONRAD getätigte stoffliche Beschreibung von Abfallprodukten verifiziert und einfach ergänzt werden, wodurch die Nachqualifizierung von Altabfällen erleichtert wird und die Kosten für die nukleare Entsorgung reduziert werden. Anhand der Möglichkeit Abfallfässer mittels QUANTOM® zerstörungsfrei und ohne Neuverpackung zu analysieren wird die Strahlenexposition des Betriebspersonals im Vergleich zu einer zerstörenden Prüfung stark vermindert und eine Abfallvolumenvergrößerung vermieden. Der Tätigkeitsschwerpunkt von Framatome liegt in der konstruktiven Entwicklung und dem Bau und Betrieb der Messanlage. Die Zielstellung von AiNT liegt auf der Erforschung und Entwicklung von neuen Methoden für die PGNAA von großvolumigen Proben. Der Projektfokus von FINT liegt in der Messung des Neutronenflusses und des Neutronenspektrums innerhalb und außerhalb der Messanlage.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- AP1 Anlagenauslegung, Konstruktion und Detailengineering
- AP2 Strahlenschutzkonzept inkl. Abschirm- und Aktivierungsberechnungen
- AP3 Nuklearphysikalische Simulation inkl. Validierung
- AP4 Genehmigungsverfahren für den Betrieb der Messanlage
- AP5 Softwareentwicklung für Betrieb und Messdatenauswertung

- AP6 Mathematische Methodenentwicklung
- AP7 Methode zur Identifizierung chemischer Verbindungen
- AP8 Neutronenspektrometrie und Neutronenflussmessung
- AP9 Aufbau & Inbetriebnahme der stationären Messanlage
- AP10 Experimentelle Validierung mit verschiedenen Matrices
- AP11 Aufbau & Inbetriebnahme der mobilen Messanlage
- AP12 Online-Neutronenflussmessung innerhalb der Messkammer
- AP13 Experimentelle Validierung mit radioaktiven Abfällen
- AP14 Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalyse

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde seitens AiNT in den Arbeitspaketen AP1 bis AP7 sowie AP12 gearbeitet. Die Entwicklung des konstruktiven Designs von QUANTOM erfolgte parallel in den Arbeitspaketen zur Konstruktion (AP1) und zur nuklearphysikalischen Simulation (AP3). Framatome und AiNT haben bei der 3D-Konstruktion eng zusammengearbeitet und hierfür in Dateien des Programms Autodesk Inventor gemeinsamen gearbeitet. Die nuklearphysikalischen Simulationen wurden seitens AiNT mit MCNP durchgeführt und dokumentiert. Ende Oktober lag ein technischer Konzeptentwurf und eine Spezifikation der Baugruppen vor, sodass der Meilenstein M1 termingerecht eingehalten wurde. Die Spezifikation der Baugruppen war die Grundlage, um erste Bestellungen zu beauftragen. Für die Inbetriebnahme der Messanlage im Strahlenschutzbauwerk von AiNT sind eine Genehmigung gemäß § 12 StrlSchG (AP4), ein Strahlenschutzkonzept und ein Sicherheitsbericht erforderlich (AP2). Innerhalb des Berichtszeitraums wurde am Strahlenschutzkonzept für die genehmigungsbedürftige Anlage vor Ort bei AiNT sowie dem Sicherheitsbericht und weiteren Antragsunterlagen gearbeitet. Aus dem Strahlenschutzkonzept wurden Abschirmdicken für die Neutronen- und Gammaabschirmung hergeleitet, die im konstruktiven Anlagenmodell umgesetzt wurden. Innerhalb von AP4 wurden in einem Zwischenbericht die Genehmigungserfordernisse gemäß der ab dem 31.12.2018 in Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung und dem Strahlenschutzgesetz dokumentiert.

Für die Auswertung der gammaspektrometrischen Daten und die Berechnung des energie- und ortsabhängigen Neutronenflusses im Abfallfass wurden verschiedene mathematische Methoden bewertet (AP6/7) und das konzeptionelle Vorgehen festgelegt. Die Transportmodellierung der Neutronen erfolgt mittels einer Diffusionsapproximation vom Typ SP3 mit Hilfe eines Finite-Elemente-Programms (FEniCS) zur Lösung der partiellen Differentialgleichungen. Dieser deterministische Ansatz zur neutronischen Transportmodellierung ermöglicht im Vergleich zu einem probabilistischen Ansatz (z.B. MCNP) eine ausreichend detaillierte Berechnung eines orts- und energieaufgelöstem Neutronenspektrums und des Neutronenflusses bei kurzen Berechnungszeiträumen (Stundenbereich). Langandauernde MCNP-Simulationen, die bei der Entwicklung der Messanlage zur Anwendung kommen, können für die iterative Auswertung nicht verwendet werden, da eine Messdatenauswertung von einem Fass sonst Wochen benötigen würde. Es wurde ein Konzept für die Softwarearchitektur (AP5) erstellt und die Verbundpartner haben eine Einigung bzgl. der Schnittstellen für die Datenverarbeitung und die Datenspeicherung in einer relationalen Datenbank getroffen. Des Weiteren wurde seitens AiNT ein Konzept für die Online-Neutronenflussmessung (AP8) erstellt, welches der Verbundpartner FINT weiter ausgearbeitet hat.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im ersten Halbjahr 2019 werden die Arbeitspakete AP1 bis AP8 weiterbearbeitet. Mit Arbeitspaket AP9 „Aufbau & Inbetriebnahme der stationären Messanlage“ wird neu begonnen werden nachdem der Neutronengenerator angeliefert wurde (April 2019). Als Erstes wird mit dem Neutronengenerator ein Funktionstest durchgeführt. Nachfolgend werden mit dem unverbauten Neutronengenerator Aktivierungsanalysen von Kalibrierfolien zur Neutronenflussmessung durchgeführt. Hieraus abgeleitet kann die Neutronenemissionsrate des Neutronengenerator in Abhängigkeit der Betriebsparameter bestimmt werden. Es wird ein Konzept für die experimentelle Validierung mit verschiedenen Matrices (AP10) erstellt und begonnen Referenzmaterialien zu erwerben.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

In der nachfolgenden Auflistung werden die wissenschaftlichen Veröffentlichungen und sonstige projektbezogene Öffentlichkeitsarbeit aufgeführt. Im Projekt wurden, obwohl es erst vor drei Monaten begonnen hat, bereits vier Veröffentlichungen für die aufgeführten Konferenzen eingereicht und seitens der Veranstalter angenommen.

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: **Stoffliche Beschreibung und Plausibilitätsprüfung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM**, KONTEC 2019, Dresden, 27. - 29. März 2019.

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: **QUANTOM - Non-destructive scanning of waste packages for material description and plausibility check**, AMNT 2019, Berlin, 07. - 08. Mai 2019

Dr. Andreas Havenith et al.: **QUANTOM® - Non-destructive scanning of radioactive waste packages for material characterization**, ANIMMA 2019, Portorož (Slovenien), 17. - 21. Juni 2019.

Dr. Olaf Schumann et al.: **QUANTOM® - Optimization of the online neutron flux measurement system**, ANIMMA 2019, Portorož (Slovenien), 17. - 21. Juni 2019.

Sven Wegener: **Internationale Pressemitteilung von Framatome**, <http://www.framatome.com/EN/businessnews-1456/framatome-entwickelt-mobile-technologie-zur-zerstrungsfreien-analyse-von-radioaktiven-abfillen.html>, 18.12.2018

Dr. Andreas Havenith: **Projektvorstellung auf der Internetseite von AiNT**, <https://www.nuclear-training.de/forschung.html>, 10.12.2018.

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: **Projektsteckbrief zum BMBF-Förderprojekt**, <http://www.framatome.com/businessnews/liblocal/docs/Presse/QUANTOM-GER-201811.pdf>, 22.11.2018

Berichtszeitraum: 01.09.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9406C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer-INT für die Fraunhofer-Gesellschaft	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Online-Messungen des Neutronenflusses	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2021	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 147.403,24 €
Projektleiter/-in: Dr. Theo Köble	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: theo.koeble@int.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Kooperationspartner Framatome GmbH (Framatome), die Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) und das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen (FINT) haben sich zum Ziel gesetzt, die Prompt-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse (PGNAA) zur Charakterisierung radioaktiver Abfälle zu entwickeln und für Ablieferungspflichtige anwendbar zu machen. Die Zielstellung des Projektes ist dem Forschungsfeld „Zerstörungsfreie Deklaration bzw. Analyse von (Alt-)Abfällen“ zuzuordnen. Innerhalb des Projektes wird die Messanlage QUANTOM[®] für die zerstörungsfreie Überprüfung der stofflichen Beschreibung aufgebaut und erprobt. QUANTOM[®] wird zunächst im Strahlenschutzbauwerk von AiNT aufgebaut und getestet. Hiernach wird die Messanlage in einem Stahlblechcontainer integriert. Dies ermöglicht den Einsatz der Messanlage direkt dort, wo die Altabfälle gelagert oder konditioniert werden. Durch die raum aufgelöst stoffliche Analyse von 200-l-Fässern können im Endlagerungsverfahren KONRAD getätigte stoffliche Beschreibung von Abfallprodukten verifiziert und einfach ergänzt werden, wodurch die Nachqualifizierung von Altabfällen erleichtert wird und die Kosten für die nukleare Entsorgung reduziert werden. Anhand der Möglichkeit Abfallfässer mittels QUANTOM[®] zerstörungsfrei und ohne Neuverpackung zu analysieren wird die Strahlenexposition des Betriebspersonals im Vergleich zu einer zerstörenden Prüfung stark vermindert und eine Abfallvolumenvergrößerung vermieden. Der Tätigkeitsschwerpunkt von Framatome liegt in der konstruktiven Entwicklung und dem Bau und Betrieb der Messanlage. Die Zielstellung von AiNT liegt auf der Erforschung und Entwicklung von neuen Methoden für die PGNAA von großvolumigen Proben. Der Projektfokus von FINT liegt in der Messung des Neutronenflusses und des Neutronenspektrums innerhalb und außerhalb der Messanlage.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Arbeitspakete des Gesamtvorhabens, an denen FINT beteiligt ist, sind:

- AP1 Anlagenauslegung, Konstruktion und Detailengineering
- AP8 Neutronenspektrometrie und Neutronenflussmessung
- AP12 Online-Neutronenflussmessung innerhalb der Messkammer
- AP13 Experimentelle Validierung mit radioaktiven Abfällen

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

Im Berichtszeitraum wurde seitens FINT in den Arbeitspaketen AP1 und AP12 gearbeitet. Innerhalb von AP1 wurde die auf den Projekttreffen von AiNT und Framatome vorgestellte Entwicklung des konstruktiven Designs von QUANTOM konstruktiv begleitet und insbesondere die Integration der Neutronendetektoren für die online-Neutronenflussmessung (AP12) abgestimmt. Abweichend von den ursprünglichen Planungen für die online-Neutronenflussmessung wurde auf dem ersten Auftakttreffen die Notwendigkeit einer erhöhten Anzahl an Messpositionen diskutiert. Für die Qualität der Auswertung wurde diese Designänderung als sehr vorteilhaft gesehen, mit den ursprünglich geplanten Spaltkammern als Neutronendetektoren wäre das verfügbare Budget allerdings um ein Vielfaches überschritten worden. Hier konnte nach intensiver Suche nach möglichen Alternativen ein He-3 Neutronenzählrohr identifiziert werden, welches sowohl die technischen Anforderungen erfüllt als auch mit dem verfügbaren Budget beschaffbar ist.

Für die online-Neutronenflussmessung sollten nun 24 bis zu 32 Detektoren genutzt werden, um die räumliche Verteilung des Neutronenflusses innerhalb des Fasses genauer erfassen zu können. Vom FINT wurden mittels ausgedehnter Monte-Carlo-Simulationen Anzahl und Positionen der um das Fass herum platzierten Neutronendetektoren auf diesen Einsatzzweck optimiert. Die vom FINT vorgeschlagene Konfiguration musste nach Rücksprache mit Framatome aus konstruktiven Gründen an zwei Positionen angepasst werden. Anschließend wurden Bestellungen von Neutronendetektoren und Auswerteelektronik vorbereitet.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im ersten Halbjahr 2019 werden die Arbeitspakete AP1 und AP12 weiterbearbeitet. In AP1 wird weiterhin die Entwicklung des konstruktiven Designs von QUANTOM mitverfolgt und bezüglich der online-Neutronenflussmessung beeinflusst. Die von Framatome bestellten Neutronendetektoren und die Nachfolgeelektronik für die online-Neutronenflussmessung werden nach Lieferung am Fraunhofer-INT mit Neutronenquellen getestet und für die Integration in die stationäre Messanlage (AP9) vorbereitet.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

In der nachfolgenden Auflistung werden die wissenschaftlichen Veröffentlichungen und sonstige projektbezogene Öffentlichkeitsarbeit aufgeführt. Im Projekt wurden, obwohl es erst vor drei Monaten begonnen hat, bereits vier Veröffentlichungen für die aufgeführten Konferenzen eingereicht und seitens der Veranstalter angenommen.

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: Stoffliche Beschreibung und Plausibilitätsprüfung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM, KONTEC 2019, Dresden, 27. - 29. März 2019.

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: QUANTOM - Non-destructive scanning of waste packages for material description and plausibility check, AMNT 2019, Berlin, 07. - 08. Mai 2019

Dr. Andreas Havenith et al.: QUANTOM® - Non-destructive scanning of radioactive waste packages for material characterization, ANIMMA 2019, Portorož (Slovenien), 17. - 21. Juni 2019.

Dr. Olaf Schumann et al.: QUANTOM® - Optimization of the online neutron flux measurement system, ANIMMA 2019, Portorož (Slovenien), 17. - 21. Juni 2019.

Sven Wegener: Internationale Pressemitteilung von Framatome, <http://www.framatome.com/EN/businessnews-1456/framatome-entwickelt-mobile-technologie-zur-zerstrungsfreien-analyse-von-radioaktiven-abfällen.html>, 18.12.2018

Dr. Andreas Havenith: Projektvorstellung auf der Internetseite von AiNT, <https://www.nuclear-training.de/forschung.html>, 10.12.2018.

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: Projektsteckbrief zum BMBF-Förderprojekt, <http://www.framatome.com/businessnews/liblocal/docs/Presse/QUANTOM-GER-201811.pdf>, 22.11.2018

Berichtszeitraum: 01.09.2018 bis 31.12.2018		Förderkennzeichen: 15S9407A	
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Postfach 200 733, 80007 München; Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Standort Dresden-Klotzsche, Maria-Reiche-Str. 2, 01109 Dresden			
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit. Teilprojekt A: Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Konditionierungsverfahren mit Nuklidseparation zur Volumenreduktion			
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2021		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.219.438,39 €	
Projektleiter/-in: Dipl.-Chem. H.–J. Friedrich		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hans-juergen.friedrich@ikts.fraunhofer.de	

1. Zielsetzung des Vorhabens

Eine bestimmende Größe für die Bemessung der Endlagerkapazität für radioaktive Abfallstoffe ist die unterzubringende Menge an C-14-haltigem Reaktorgraphit, wobei die Bindungsform des Isotops C-14 im Graphit von großer Bedeutung ist. Die Zielstellung des Vorhabens besteht deshalb darin, eine neue Prozesskette moderner Dekontaminationsverfahren für die endlagergerechte Behandlung von radioaktivem Reaktorgraphit zu entwickeln und im Labor- bzw. Technikumsmaßstab zu erproben. Diese Technologie, bestehend aus den Teilschritten Charakterisierung, Oberflächendekontamination, Klassierung, Umsetzung des Graphits zu Synthesegas, Radionuklidabtrennung und Umsetzung zu endlagergerechten Feststoffen, soll es künftig ermöglichen, den Reaktorgraphit durch weitgehende Separation der darin enthaltenen Radionuklide so zu konditionieren, dass die geplante Endlagerkapazität dafür hinreichend ist.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- AP1: Projektkoordination
- AP2: Bereitstellung und Charakterisierung von Reaktorgraphit
- AP3: Ermittlung und Analyse der leichter freisetzbaren Nuklidfraktion und Auswahl von Verfahren zu deren Konditionierung
- AP4: Vergasung des vorbehandelten Graphits
- AP5: Dekontamination des erzeugten Synthesegases durch Isotopentrennung
- AP5: Umsetzung des mit C-14 angereicherten Gasstroms zu C-14-CaCO₃
- AP7: Bilanzierungen, zusammenfassende Bewertung, Verwertungskonzept

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

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

AP1: Die Aktivitäten zu AP 1 erfolgten planmäßig. Ein kick-off-Meeting und ein erstes Arbeitstreffen wurden organisiert und durchgeführt.

AP2: Die Arbeiten zu AP 2 werden überwiegend durch VKTA Rossendorf als Nachauftragnehmer ausgeführt. Ein entsprechendes Beauftragungsverfahren wurde eingeleitet und genehmigungsrechtliche Aspekte der Überlassung von Reaktorgraphit aus dem ehemaligen RFR geprüft. Erste vorläufige Informationen zu Nuklidvektoren wurden zur Verfügung gestellt.

AP3: Eine praktische Bearbeitung war im Berichtszeitraum noch nicht vorgesehen. Um eine planmäßige Bearbeitung abzusichern wurde die Beschaffung einiger hierfür benötigter Geräte (Kugelmühle mit Be-/Entgasungsmöglichkeit, Thermodesorptionsapparatur mit Nachverbrennung) ausgelöst bzw. bereits realisiert.

AP4: Das Arbeitspaket wird federführend durch den Verbundpartner TU-Bergakademie Freiberg, Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, bearbeitet.

AP5: Mit der Auslegung der Versuchsanlage zur Trennung der Kohlenstoffisotope mittels Membrandiffusion wurde begonnen. Für den Trennprozess auf Basis der Knudsendiffusion wurden für die anzunehmenden zu trennenden Gasströme theoretische Trennfaktoren berechnet und Verschaltungen von Membranen entwickelt, mit dem Ziel das radioaktive Isotop C-14 weitgehend aus dem Gasstrom abzutrennen bzw. anzureichern. Ein Grobkonzept für eine Gaspermeationsvorrichtung wurde entwickelt. Dies wird nun verfeinert und technisch umgesetzt.

AP6: Eine Bearbeitung war im Berichtszeitraum nicht vorgesehen.

AP7: Eine Bearbeitung war im Berichtszeitraum nicht vorgesehen

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Das nächste Verbundmeeting ist für Mai 2019 geplant.

AP2: Nach Freimessung und Anlieferung einer ersten Teilmenge Reaktorgraphit wird dieser weitergehend charakterisiert. Der Bezug und die Charakterisierung von aktivierten/kontaminierten Reaktorgraphit sind im 2. Halbjahr 2019 geplant.

AP3: Die entsprechenden Arbeitsverfahren zur Ermittlung der leichtfreisetzbaren Anteile des Radionuklidinventars werden zunächst mit dem gelieferten freigemessenen Reaktorgraphit mit ansonsten gleicher Einsatzhistorie erprobt, speziell die Arbeitsschritte zur Probenpräparation und zum Transfer des Probenmaterials. Untersucht werden sollen dabei u.a. der Einfluss der Korngröße, der einer tribochemischen Aktivierung, der Temperatureinfluss bzw. der Einfluss elektrochemischer Parameter.

AP4: Geplant sind Abstimmungen mit dem Verbundpartner zu den konkreten Bearbeitungsschritten.

AP5: Die Auslegung der Membrandiffusionsanlage (Kaskade) wird fortgesetzt und abgeschlossen. Nachfolgend werden die benötigten Komponenten beschafft/gefertigt und die Anlage errichtet. Im Jahresverlauf soll im Zuge von Unteraufträgen mit den Untersuchungen zur C-14-Abtrennung mittels Thermodiffusion und mittels Gaszentrifuge begonnen werden.

AP6: Die Bearbeitung ist erst im 3. Jahr der Laufzeit vorgesehen.

AP7: Mit den Bewertungen bzgl. der einzusetzenden Verfahren und der anzuwendenden Prozessschritte kann erst nach Vorliegen erster experimenteller Ergebnisse begonnen werden. Diese sollten zum Ende des kommenden Berichtszeitraums vorliegen, sodass erste Bewertungsergebnisse in der darauffolgenden Berichtsperiode erwartet werden können.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Bei der Planung des Projektes wurden die Ergebnisse der Projekte CAST, CarboWASTE und CarboDISP berücksichtigt. Auf die dort beschriebenen methodischen Ansätze soll –soweit im konkreten Fall möglich- zurückgegriffen werden.

6. Berichte und Veröffentlichungen

-keine-

Berichtszeitraum: 01.09.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9407B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Bergakademie Freiberg	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt GraKon – Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit, Teilprojekt B	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2021	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 516.043,96 €
Projektleiter/-in: Prof. Bernd Meyer	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Bernd.Meyer@iec.tu-freiberg.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Eine maßgebliche Größe für die Bemessung der zu errichtenden deutschen Endlagerkapazitäten für radioaktive Abfälle ist die Einlagerung von C-14-haltigem Reaktorgraphit/Kohlestein. Es bestehen derzeit erhebliche Unsicherheiten, ob die geplante Endlagerkapazität die Aufnahme der vorhandenen Mengen an Reaktorgraphit zulässt. Gegenwärtig sind keine Konditionierungsverfahren bekannt, die eine substantielle Verringerung der einzulagernden Menge C-14-haltigen Graphits ermöglichen.

Vor diesem Hintergrund besteht die Zielstellung des Vorhabens darin, eine neue Prozesskette modernster Dekontaminationsverfahren für die endlagergerechte Behandlung von radioaktiven Reaktorgraphit zu entwickeln und im Labor- bzw. Technikumsmaßstab zu erproben.

Das Teilprojekt B verfolgt in diesem Rahmen das Ziel, Möglichkeiten zur Überführung von Reaktorgraphit in gasförmige Komponenten zu erproben als Voraussetzung, um eine gezielte Abtrennung des kontaminierten Kohlenstoffes in der Gasphase und damit eine Minimierung und Spezifizierung des einzulagernden Materials realisieren zu können.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Der Arbeitsplan baut sich entlang der avisierten Gesamtprozesskette auf und umfasst die Graphitcharakterisierung, die Oberflächendekontamination, die Umsetzung des Graphits zu Synthesegas, die Radionuklidabtrennung und die Umsetzung zu endlagergerechten Feststoffen. Die entwickelte Gesamtprozesskette wird bilanziert und Konzepte für die technische Realisierung abgeleitet. Die Prozessschritte sollen auf der Basis von Reaktorgraphit aus einem Forschungsreaktor getestet werden. Im Teilprojekt B steht die Betrachtung des thermochemischen Vergasungsverhaltens von Reaktorgraphit im Mittelpunkt und umfasst:

- Labortechnische Untersuchungen des Konversionsverhaltens von Reaktorgraphit,
- die Identifikation geeigneter Vergasungsprozesse,
- die Entwicklung einer Prozesskette für die optimale Gaserzeugung sowie
- die Mitwirkung bei der Gesamtprozesskettenbilanzierung und -konzeption.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Die Arbeiten im Berichtszeitraum beziehen sich hauptsächlich auf den AP 310 (Thermochemische Charakterisierung des Reaktorgraphits / Methodenüberprüfung). Im Einzelnen wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- weiterführende Literaturrecherche für die Graphit- und Reaktorgraphitvergasung mit besonderem Schwerpunkt auf Kinetikansätzen und kinetischen Parametern für die Graphitvergasung auch unter Einbeziehung von russischsprachigen Quellen,
- Beschaffung von Ersatzgraphitproben (nachfolgend als EGP bezeichnet), da die vorgesehenen Reaktorgraphitproben noch nicht verfügbar waren,
- Methodenüberprüfung anhand der EGP und thermochemische Charakterisierung hinsichtlich Immediat- und Elementaranalyse, Bestimmung von Heiz- und Brennwert sowie Ermittlung von physikalischen Strukturparametern,
- Beschaffung und Einbau einer Hochtemperatureinheit für die Simultane Thermische Analyse (STA) für ein bestehendes TG/DSC-System (siehe Abbildung 1),
- Beginn der Kalibrierung des TG/DSC-Systems und Vorbereitung der Ankopplung eines Massenspektrometers,

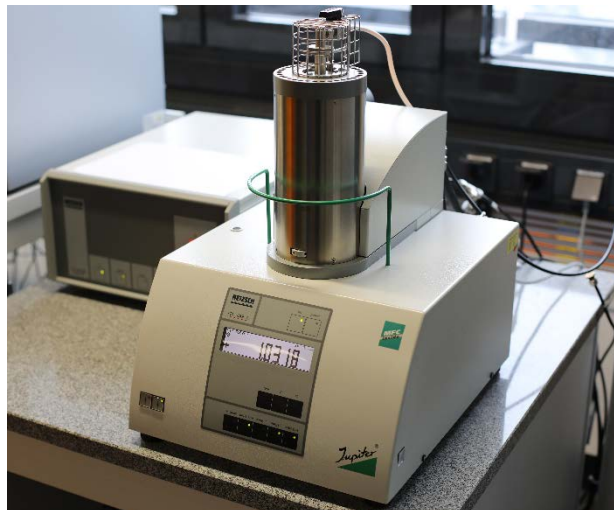


Abbildung 1. TG/DSC-System mit Hochtemperatureinheit

- Vorbereitung des voraussichtlichen Versuchsplans für die Ermittlung von kinetischen Parametern unter Berücksichtigung der Prozessparameter Temperatur, Aufheizgeschwindigkeit und Vergasungsmittel.

4. Geplante Weiterarbeit

Die geplanten Weiterarbeiten betreffen die Weiterführung des AP 310 (Thermochemische Charakterisierung des Reaktorgraphits / Methodenüberprüfung) und den Beginn des AP 320 (Untersuchung des Konversionsverhaltens). Die nächsten Schritte umfassen:

- die Weiterführung der Literaturrecherche für die Graphit- und Reaktorgraphit-konvertierung mit den Schwerpunkten Prozesse und Kinetik der Vergasung,
- den Abschluss der Kalibrierung der TG/DSC- und MS-Systeme
- kinetische Tastuntersuchungen unter Verwendung der Ersatzgraphitproben EGP einschließlich Anpassung des Versuchsplanes anhand der Untersuchungsergebnisse,
- die Charakterisierung der Reaktorgraphitproben RGP (sobald verfügbar) und Vergleich mit den Ersatzgraphitproben sowie
- die labortechnischen Untersuchungen des Konversionsverhaltens von Reaktorgraphit zur Ermittlung der kinetischen Parameter und Ableitung der Vergasungskinetik.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es sind keine Änderungen gegenüber der Antragsstellung abzusehen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Im Projekt sind derzeit keine Berichte und Veröffentlichungen entstanden.

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9194
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Friedrich-Schiller-Universität Jena	
Vorhabenbezeichnung: Umsetzung von Schwermetallfarming zur nachhaltigen Landschaftsgestaltung und Gewinnung erneuerbarer Energien auf radionuklidbelasteten Flächen (USER)	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.12.2014 bis 31.05.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 988.374,00 €
Projektleiter/-in: Dr. Dirk Merten	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 Biomasseerträge 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 Auswertung der in 2017 gewonnenen Daten zum Monitoring der Pflanzenparameter wurden nach der abschließenden Befliegung zum Ende der Vegetationsperiode 2018 abgeschlossen (**AP8**). Hierbei bestätigt sich der Vorteil der Erle auf der Gessenwiese (+ 370 - 390 %) gegenüber der Weide (+ 20 - 40 %) und Birke (+ 60 - 100 %) hinsichtlich des Höhenwachstums und der Biomasseproduktion (2016 - 2018) auf den mit Rendzina behandelten Flächen (TFR5, TFR5M) gegenüber der Weide und der Birke, welche durch in situ gewonnene Boniturdaten verifiziert werden konnte.

Am Kanigsberg zeigte sich ein Wachstumsvorteil für die Erle mit der 20%-Rendzinabeimischung (R20) auf dem Testfeld Bareground. Der positive Eindruck der Erle hinsichtlich des Pflanzenwachstums lässt sich auch auf den trockenen und nährstoffarmen Testflächen Erosionsplot und Plateauplot feststellen (Kanigsberg). Dabei übersteigt die Biomasseproduktion der Erle, unabhängig von der mikrobiellen Inokulation mit Mykorrhiza und Streptomycceten, deutlich die der anderen Baumarten Birke, Weide und Kiefer.

Die durchgeführte hydrochemische Stichtagsbeprobung der Grundwässer (**AP2**) zeigte eine um eine Größenordnung höhere RN/SM-Konzentration im Abstrom als im Anstrom des Grundwassers auf der Gessenwiese.

Mittels Varianzanalyse der erhobenen Daten konnte festgestellt werden, dass Rendzina einen positiven Effekt auf die Mykorrhizierung von *F. rubra* hat; ein signifikanter Unterschied zwischen der Behandlung mit 5% oder 20% Rendzina konnte nicht festgestellt werden. Die Inokulation zeigte für *F. rubra* auf Flächen mit 20% Rendzina und Inokulation (M und MS) im Gegensatz zur 20%-Kontrolle eine signifikant stärkere Mykorrhizierung (**AP4**).

Aufgrund der großen Menge und unerwarteten Diversität von Sequenzdaten und dem damit einhergehenden Rechenaufwand (bspw. zur Erstellung von phylogenetischen Distanzmatrizen) konnten bisher erst ausgewählte Proben prozessiert werden. Diese wurden mit Lebendzellzahlen und mikrobieller Aktivität (Bodenatmung) verknüpft (**AP 9**). Hierbei konnten auch pH-Werte, LF und die bioverfügbaren R/SM-Gehalte direkt in der Rhizosphäre sowie Chlorophyllfluoreszenz als Parameter der Pflanzenvitalität einbezogen werden. Ein Entwurf des Abschlussberichts wurde mit einem neuen Antrag eingereicht.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu AP)

Die Auswertung der Daten wird fortgeführt und Veröffentlichungen in Fachzeitschriften werden vorbereitet.

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

- Beulke, F., (2018). Beitrag mikrobiologischer Behandlung auf das Pflanzenwachstum auf schwermetallbelasteten Böden. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Gansert, C. (2018). Hydrochemische Kartierung und mikrobiologische Charakterisierung des ehemaligen Tailinggebiets Culmitzsch/Trünzig. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Grawunder, A. & M. Gube (2018). Element distribution in fruiting bodies of *Lactarius pubescens* with focus on rare earth elements. *Chemosphere* 208, 614-625.
- Grawunder, A., Mirgorodsky, D., Männel, A.-T., Merten, D. & G. Büchel (2018). Amendment of calcareous top soil to AMD affected soil: Effects on metal mobility - a column study. 17th symposium on remediation. October 1-2, Jena.
- Fürst, D., Pietschmann, S., Merten, D., Büchel, G. & E. Kothe (2018). Phytoremediation: field scale experiments. 17th symposium on remediation, October 1-2, Jena.
- Kessler, V.H. (2018). Assessing metal tolerance mechanism and intra-/intercellular metal distribution within symbiotic association of *Picea abies* and *Tricholoma vaccinum*. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Kirtzel, J. (2018). Geomicrobiology of *Schizophyllum commune*. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Kirtzel, J., Scherwietes, E.L., Merten, D., Krause, K. & E. Kothe (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]
- Kirtzel, J., Madhavan, S., Wielsch, N., Blinne, A., Hupfer, Y., Linde, J., Krause, K., Svatoš, A. & E. Kothe (2018). Enzymatic bioweathering and metal mobilization from black slate by the basidiomycete *Schizophyllum commune*. *Front Microbiol* 9, 2545.
- Kothe, E. & K. Turnau (2018). Mycorrhizosphere Communication: Mycorrhizal Fungi and Endophytic Fungus-Plant Interactions. *Front Microbiol.* 9, 3015.
- Lenk, K. (2018). Antibiotikaresistenzen in Bodenbakterien. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Märten, A. (2018). Bioimaging of trace metals by Laser Ablation ICP-MS in tissues of trees grown at a post-mining area. 17th symposium on remediation. October 1-2, Jena.
- Mirgorodsky, D. (2018). Influence of rendzina soil amendment on soil water chemistry and biomass productivity at field scale. 17th symposium on remediation. October 1-2, Jena.
- Rahman Khattak, M.H. (2018). Stress response triggered in *Tricholoma vaccinum* by biotic and abiotic stress conditions. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Riahi, M. (2018). Bodenmikrobiologische, physikochemische und umweltanalytische Charakterisierung von Schwermetall-kontaminierten Flächen während der in situ-Phytoremediation. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Riefenstahl, M. (2018). Metal content and mobility in the rhizosphere soil of fast growing tree crops – Results from four years of cultivation. 17th symposium on remediation. October 1-2, Jena.
- Salbreiter, M. (2018). Interaction between *Tricholoma vaccinum*, *Picea abies* and *Streptomyces* under the influence of nickel. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Waqas, M. (2018). Investigation of conjugational transfer of plasmids from *Streptomyces* strains to bacteria isolated from a heavy metal contaminated site. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9276A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2016 bis 31.05.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.173.453,60 €
Projektleiter/-in: Dr. Johannes Raff	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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

AP 6.4 Radionuklidspeziation in Böden: Untersuchungen zum Sekretionsverhalten von *S. commune* und dessen Einfluss auf die Radionuklidspeziation durch Anwendung der Hochdruckflüssigchromatographie bezüglich der Auftrennung organischer Säuren haben gezeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Verhalten in uran- bzw. europiumhaltigem Minimalmedium und entsprechender Bodenlösung gibt. Daher wurden das neu entwickelte HPLC-Protokoll, das es ermöglicht, auch sekretierte Peptidverbindungen zu fraktionieren, zunächst nur für die Überstände der Sorptionsexperimente von *S. commune* mit Uran bzw. Europium in Minimalmedium verwendet. Die Identifizierung der Metabolite mittels NMR, IR bzw. MS erwies sich jedoch als schwierig, da das Aufkonzentrieren der Fraktionen bisher noch nicht erfolgreich war und keine ausreichend hohe Metabolit-Konzentration für die Spektroskopie und weitere Analysen erhalten werden konnten.

AP 7.2 Radionuklidbilanzierung Boden-Pilz: Ende November 2018 wurden neue Mikrokosmen-Experimente zur Untersuchung der Aufnahme von U(VI), Eu(III), Sr(II) und Cs(I) aus dem Boden durch *S. commune* begonnen. Um das Wachstum des Pilzes und die Metallaufnahme sowie den -transport zu verbessern, wurde ein nährstoffreicherer Boden im Vergleich zum bisher verwendeten sandigen Boden des VKTA eingesetzt. Diese Mikrokosmen-Experimente werden Ende Februar 2019 beendet. Danach erfolgen die entsprechenden Analysen und spektroskopischen Untersuchungen (siehe geplante Weiterarbeit). Um die Frage beantworten zu können, ob die Aufnahme, der Transport und die Akkumulation von Radionukliden von der Pilzart bzw. ihrer Lebensweise und ihrer Nährstoffaufnahme abhängig sind, werden die U(VI)- bzw. Eu(III) –Wechselwirkungen mit *Pleurotus ostreatus* (verwandt mit *S. commune*) und *Macrolepiota procera* (verwandt mit *L. naucinus*) in Abhängigkeit von der Inkubationszeit, des pH-Wertes und der Metallkonzentration im Minimalmedium untersucht. Diese Sorptionsexperimente verbunden mit entsprechenden Analysen und spektroskopischen Messungen werden im Rahmen einer Diplomarbeit von Leander Freitag seit Oktober 2018 durchgeführt. Erste Ergebnisse zeigten, dass auch *Macrolepiota procera* Uran in einem zweiphasigen Prozess analog zu *L. naucinus* und *S. commune* bindet, und bei pH 5 eine größere Menge an Uran sorbiert als *L. naucinus*.

AP 7.3 Speziationsuntersuchung Boden-Pilz: Aus den erhalten U(VI)-Spektren uranhaltiger Pilzproben konnten über eine parallele Faktoranalyse (PARAFAC) U-Spezies identifiziert werden, die sich an/in der Biomasse von *S. commune* und *L. naucinus* nach der Metall-Wechselwirkung gebildet haben. Unter Einbeziehung gemessener Emissionsspektren organischer und anorganischen U-Referenzverbindungen im Medium, in dem die Sorptionsexperimente durchgeführt wurden, wurde für *S. commune* die Bildung eines U-Phosphatminerals nachgewiesen, die auch durch neue TEM-EDX Messungen bestätigt wurde. Die Festlegung des Urans an/in *L. naucinus* erfolgt dagegen über ein anderes U-Mineral. Durch die Extraktion von zwei ähnlichen Einzelkomponenten-Spektren wird vermutet, dass das Mineral in zwei verschiedenen Kristallisationsstufen vorliegt. Die Identifizierung der Art des Minerals ist bislang schwierig, da noch nicht die richtige Referenzverbindung gefunden wurde. Weiterhin wurden neue Eu(III) Sorptionsexperimente mit *S. commune* und *L. naucinus* für Speziationsuntersuchungen mittels TRLFS (Anregung bei 394 nm und side-selectiver Anregung) durchgeführt sowie Proben und Messungen vorbereitet. Die Messungen erfolgen Ende Januar/ Anfang Februar 2019. Für die Bestimmung eines möglichen Metalleinflusses (U, Eu) auf biochemische Prozesse im Pilzmetabolismus wurden Proteomics-Vorversuche, speziell eine Methodenentwicklung für

die Extraktion der Proteine metallkontaminierter und nicht kontaminierter Pilzzellen durchgeführt.

AP 9.4. Speziationsuntersuchung in Boden und Pflanze: Zur Aufklärung, in welcher chemischen Form letztendlich die Radionuklide von den Pflanzen aufgenommen und abgelagert werden, muss zunächst die Radionuklidspeziation im Boden mit Pilz und deren zeitlicher Verlauf vollständig aufgeklärt sein. Wie die Experimente bislang zeigen, kommt es entweder zu keiner signifikanten Aufnahme der Radionuklide durch die Pflanzen oder zu einer geringfügigen Aufnahme. Dies hängt vermutlich mit einer zeitlich gestaffelten und unterschiedlichen Stressantwort der Pilze und der verschiedenen Pilzarten zusammen, die teilweise organische Metabolite sekretieren, teilweise Radionuklide aufnehmen und teilweise keine Interaktion zeigen. Ziel ist es daher, zeitnah entsprechende Sekundärmetabolite zu identifizieren und den zeitlichen Verlauf ihrer Freisetzung zu kennen, um letztendlich entsprechende Pflanzenexperimente durchführen und die Radionuklidspeziation in den Pflanzen untersuchen zu können.

AP 11.3 Transport des Metalls in der Hyphe: Die aus den ersten Mikrokosmen-Experimente gewonnenen Erkenntnisse, dass U, Eu und Sr (Cs nicht) durch die Hyphen des Mycel von *S. commune* und *L. naucinus* transportiert werden, sollen durch verbesserte Mikrokosmen-Experimente mit *S. commune* (siehe AP7.2) bestätigt bzw. untersetzt werden.

AP 13.3 Untersuchung der Bodendurchdringung durch den Pilz: Durch wissenschaftlichen Austausch mit Kollegen der Uni Jena und Testung an Bodenproben ausgewählter Mikrokosmen-Experimente konnte die Methode zur Pilz-DNA-Isolierung aus Boden am HZDR etabliert werden. Am Beispiel des Wachstums der Pilze in den Säulen (Experimente des VKTA im AP 7.1/7.2, unterstützt durch HZDR) zeigte sich, dass in den obersten Schichten die größeren Mengen an DNA gewonnen werden konnten. Das deutet darauf hin, dass dort mehr Pilzbiomasse aufgrund der besseren Verfügbarkeit von Sauerstoff gebildet wurde.

4. Geplante Weiterarbeit

- **Abschluss aller experimentellen Arbeiten, insbesondere der Mikrokosmen-Experimente** mit entsprechenden Analysen – Bestimmung der Konzentration an RN im Myzel, DNA-Isolierung und Sequenzierung, TRLFS, TEM-EDX, Proteomics). Anschließend Zusammenfassung der Ergebnisse im Projektabschlussbericht und Anfertigung der Promotionsarbeit durch Anne Wollenberg.
- Durchführung von letzten Uran-Sorptionsexperimenten bzw. Eu-Sorptionsversuchen mit *Pleurotus ostreatus* und *Macrolepiota procera*, Durchführung von TRLFS-Messungen bei Tieftemperatur und TEM-EDX mikroskopischen Untersuchungen, entsprechende Auswertung und Vergleich mit *S. commune* und *L. naucinus*, Anfertigung der Diplomarbeit durch Leander Freitag.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

-

6. Berichte und Veröffentlichungen

- J. Raff, E. Krawczyk-Bärsch: Microbial and vegetal life in the near- and far-field of a nuclear waste repository: Scientific seminar, 11.10.2018, Cadarache, France (Vortrag)
- A. Wollenberg, M. Merroun, A. Günther, J. Raff, T. Stumpf: Molecular interactions of fungi with U(VI) studied by microscopic and spectroscopic methods. Goldschmidt conference, 12.-17.08.2018, Boston, USA (Vortrag)
- J. Raff, A. Wollenberg, M. Merroun, A. Günther, T. Stumpf: How Schizophyllum commune and Leucoagaricus naucinus meddle in radiometal migration. 17th Symposium on Remediation, 01.-02.10.2018, Jena, Germany (Vortrag)
- A. Wollenberg, M. Merroun, A. Günther, J. Raff, T. Stumpf: Molecular interaction of fungi with uranium. International conference Uranium biogeochemistry, 21.-26.10.2018, Ascona, Switzerland (Poster)
- J. Raff, Vorlesung Mikrobiologie, Wintersemester 2018/19, HTW Dresden, Studiengang Chemie-Ingenieurwesen

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9276B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt des Potenzials: Untersuchung biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2016 bis 31.05.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 223.027,91 €
Projektleiter/-in: Dr. Sina Großmann	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 Aerationszone zur Abschätzung der Wachstumsgeschwindigkeit sowie Optimierung der Wachstumsbedingungen (AP2)
- Durchführung von Säulenversuchen unter Bedingungen wie etwa in der Aerationszone 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)

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

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

Für alle Bodenscheiben aus den Säulenversuchen Nr. 2+3 (unkontaminierter Boden + Glasperlen + *S. commune* + stabiler Sr/Cs-Tracer) wurden die verbleibenden zwei von insgesamt sieben Extraktionsschritten durchgeführt und die entstandenen Extraktionslösungen (24 Proben je Fraktion = 168 Proben) mittels ICP-MS analysiert. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse aller sieben Fraktionen für Strontium und Cäsium in der Säule mit dem Pilz *S. commune* ist in Abbildung 4 dargestellt (je Diagramm wurden 77 Analyseergebnisse zusammengefasst). Dieser Zusammenstellung kann man entnehmen, dass die größten Gehalte an Sr in der mobilen Fraktion (I) sowie in der residualen Fraktion (VII) zu finden sind. Das gleiche gilt für Cs.

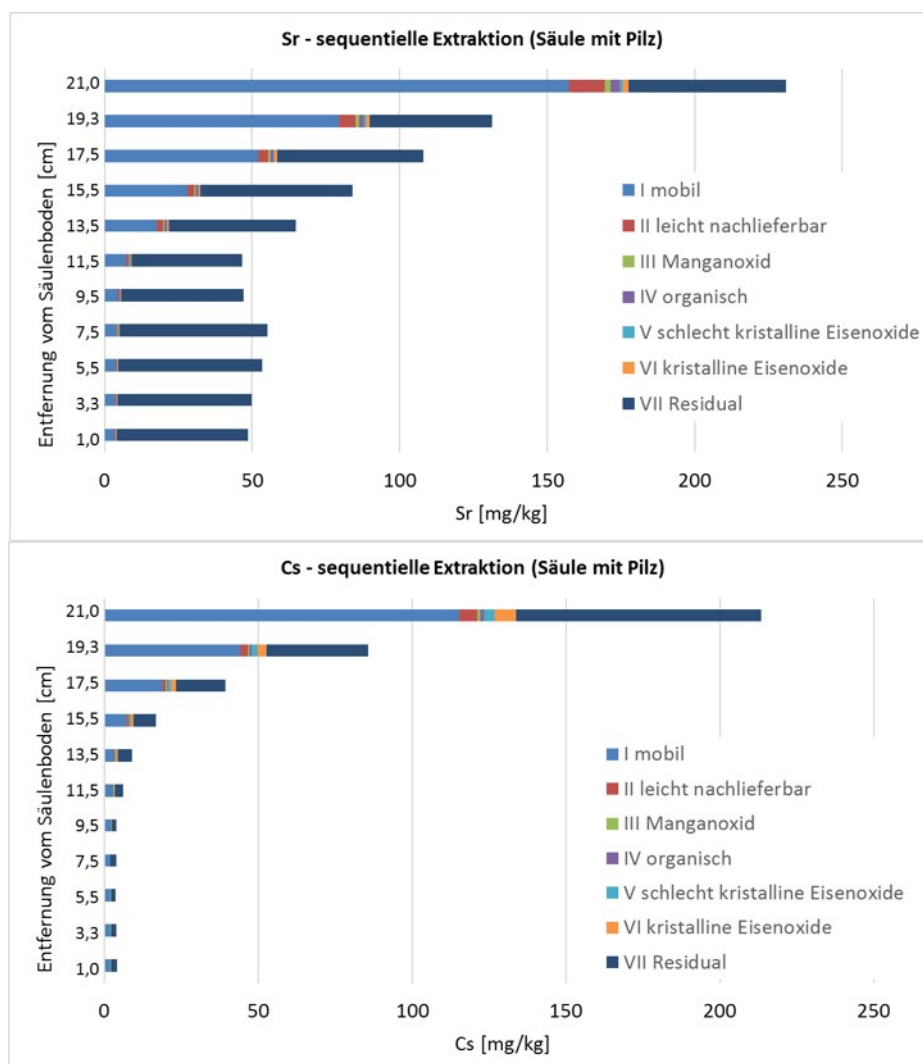


Abbildung 4: Zusammenfassende Darstellung der Sr- und Cs-Gehalte der sequentiellen Extraktion der Säule mit *S. commune*

Während Strontium in der residualen Fraktion jedoch über die gesamte Säule in annähernd gleichen Konzentrationen vorkommt, ist Cäsium in den oberen Schichten der Säule deutlich stärker vertreten als in den unteren Schichten. Dies spricht dafür, dass das als Tracer zugegebene Cäsium, dessen Backgroundkonzentration im Boden sehr klein ist, recht

festgebunden wird. Im Gegensatz hierzu wird das als Tracer zugegebene Strontium gar nicht oder nur in geringem Maße in die residuale Phase eingebunden. Es verbleibt verstärkt in der mobilen Fraktion.

Sowohl Sr als auch Cs wurden vor allem in den oberen Schichten der Säulen gefunden, wobei bei den Säulen mit Pilz der Tracer ein bisschen weniger weit in die Tiefe der Säule vorgedrungen ist, als bei der Vergleichssäule ohne Pilz. Jedoch ist der Unterschied nur sehr gering, sodass man von annähernd gleichen Ergebnissen sprechen kann.

Die Bodenproben aus den darauffolgenden Säulenversuchen Nr. 4 + 5 (unkontaminierter Boden + *s. commune* + stabiler Sr/Cs-Tracer) wurden zunächst mit Reinstwasser extrahiert (nicht Bestandteil der sequentiellen Extraktion) und die Extrakte mittels ICP-MS analysiert. Diesmal kann ein gegensätzlicher Verlauf zu den Ergebnissen der Säulen 2 + 3 abgelesen werden (Beispiel für die Strontium-Ergebnisse siehe Abbildung 5). Das heißt, der Tracer konnte dieses Mal in der Säule mit Pilz tiefer in den Boden eindringen als in der Vergleichssäule ohne Pilz. Eine mögliche Ursache könnte das Fehlen der Glasperlen gegenüber der Säulen 2 + 3 sein (besseres Pilzwachstum wurde ohne Glasperlen beobachtet). Für alle Bodenproben dieser beiden Säulen wurde auch eine sequentielle Extraktion durchgeführt. Die aus der Wasserextraktion erhaltene Tendenz bleibt jedoch für alle bisher analysierten Schritte bestehen. Die Analyse der Fraktion VII steht jedoch noch aus.

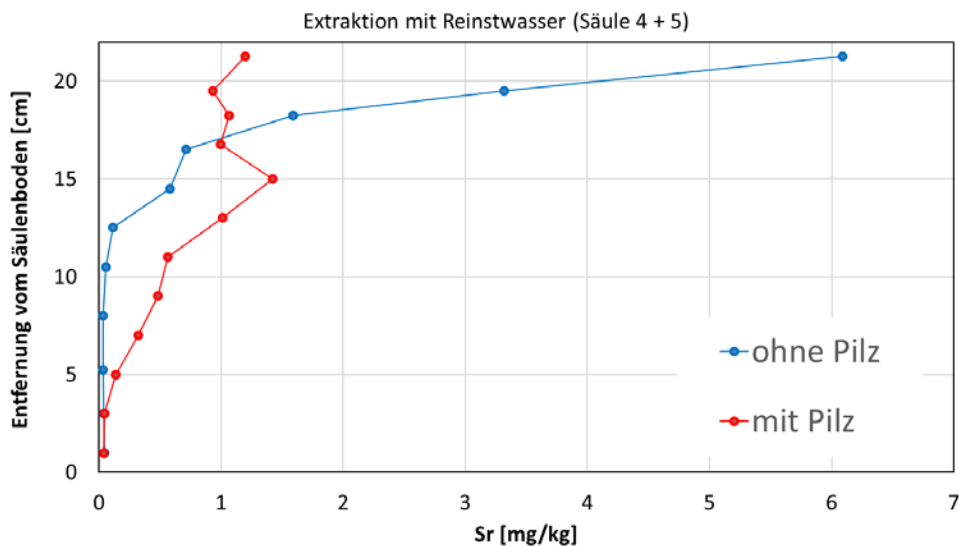


Abbildung 5: Sr-Gehalte in den Extrakten der Bodenscheiben von Säule 4 und 5 nach Elution mit Reinstwasser

Die Säulen der neusten Versuche mit kontaminierten Boden (Säulen 6 = Referenz + 7 & 8 = *s. commune*) wurden im zweiten Halbjahr 2018 regelmäßig mit sterilem Leitungswasser beregnet. Das an den unteren Säulenenden austretende Wasser (Eluat) wurde regelmäßig abgenommen und zunächst mittels ICP-MS auf stabiles Strontium sowie weitere Alkali-/Erdalkalimetalle untersucht. Ein Teil dieser Proben wird zurzeit auch auf Sr-90 analysiert.

Erste Ergebnisse aus den Analysen mittels ICP-MS zeigen, dass das stabile Strontium, welches durch das sterile Leitungswasser (ca. 220 µg/l) aufgegeben wird, in den Säulen zum Teil zurückgehalten wird. Dabei wird von den Säulen mit Pilz mehr stabiles Sr zurückgehalten (ca. 60 %) als von der Referenzsäule ohne Pilz (ca. 30 %). In wieweit sich diese Erkenntnis auf die Elution des aktiven Sr-90 übertragen lässt, bleibt abzuwarten, bis Analysenergebnisse von Sr-90 vorliegen.

AP11 Pilzballenkultivierung:

Die im Sommer gestarteten Versuche zur Anzucht der Pilzart *Stropharia rugoso-annulata* mittels kommerziell erhältlicher Anzuchtboxen wurden verworfen, da leider nur ein sehr schlechtes und sehr unterschiedliches Mycelwachstum erhalten wurde. Um noch Experimente, mit den bereits mit stabilem Sr und Cs getesteten Champignons, durchführen zu können, wurde im November ein Thermostatschrank angeschafft. Dieser kann die benötigten Temperaturen von 15-18 °C ganzjährig stabil gewährleisten. Im Dezember wurden daraufhin die ersten Anzuchtboxen mit einer Mischung aus Anzuchterde und kontaminiertem Boden angesetzt. Die erste Ernte wird für Januar erwartet.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Beenden der sequentiellen Extraktion der Bodenproben aus Säule 4 + 5. Durchführen des Totalaufschlusses und Analyse der Aufschlusslösungen (=residuale Fraktion).
- Analyse der Sr-90-Konzentration in den Eluaten aus den Säulen 6, 7 & 8.
- Öffnen der Säulen 6, 7 und 8. Schneiden der Bodenkerne in Scheiben und Analyse der Bodenproben.
- Ernten der Champignons aus den aktuellen Fruchtkörperversuchen und Analyse auf Sr-90 und weitere Elemente. Ansetzen weiterer Versuche mit kontaminiertem Boden, z.B. ohne Zugabe von Anzuchterde zur Bestimmung eines Transferfaktors.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9276C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Friedrich-Schiller-Universität Jena	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStra)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2016 bis 31.05.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 307.573,20 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Erika Kothe	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 Matrizes 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: Die Säulenversuche laufen in Rossendorf, nach deren Abschluss stehen die Mikrobiomanalysen weiterhin an, die gemeinsam ausgewertet werden.
- AP10: *S. commune* konnten mit den entwickelten Primern nachgewiesen werden. Die Community-Analysen werden mit den erfolgreichen DNA-Extraktionen ausgewertet.
- AP11: Pilzkulturen wurden für *in vitro*-Versuche im entwickelten Aufbau angelegt und RNA isoliert, mit der eine Transcriptom-Analyse durchgeführt wird. Der Transfer von SM/RN wurde mit *S. commune* näher analysiert.
- AP12: Pilzkompositmaterialien für die Aufreinigung von Wässern erfolgt unter Nutzung des Pilzwachstums in Myzelform weiterhin in Form einer Studienabschlussarbeit.
- AP13: Der Nachweis von *S. commune* im Boden aus Tschernobyl ist mittels PCR in Teilen gelungen und muss in einer unabhängigen Analyse verifiziert werden.

4. Geplante Weiterarbeit (Referenz AP)

Die Säulenversuche sowie Inokulation in Topf- und Feldversuchen werden weiter analysiert. Ausstehende Arbeiten:

- AP7 Auswertung der Säulenversuche (2. Versuchsreihe) zum Radionuklidtransfer Boden-Pilzmyzel im kostenneutralen Verlängerungszeitraum wird weitergeführt.
- AP10 Bestimmung der mikrobiellen Diversität über 16S rDNA- bzw. ITS-Sequenzanalysen. Nachweis von *S. commune* mit Art-spezifischen Primer wird unabhängig validiert.
- AP11 Weiterführung der Untersuchung des Transfers von Radionukliden in die oberirdischen Fruchtkörper von Pilzen bei VKTA mit neuen Pilzballen.
- AP12 Pilzkompositmaterialien werden nicht weiter für Wasser entwickelt; die Nutzung von Kompositen, die für den Boden etabliert wurden, ist aber möglich. Damit ist dieses Paket abgeschlossen.
- AP13 Nachhaltigkeit der Pilzinokulation im Testfeld wird weiterbearbeitet und unabhängig verifiziert.

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, Madhavan S, Wielsch N, Blinne A, Hupfer Y, Linde J, Krause K, Svatoš A, Kothe E. 2018. Enzymatic bioweathering and metal mobilization from black slate by the basidiomycete *Schizophyllum commune*. *Front Microbiol* 9: 2545.

Wirth S, Kunert M, Ahrens LM, Krause K, Broska S, Paetz C, Kniemeyer O, Jung EM, Boland W, Kothe E. 2018. The regulator of G-protein signalling Thn1 links pheromone response to volatile production in *Schizophyllum commune*. *Environ Microbiol* 20:3684-3699.

Murry R. 2018. Inositol phosphate in the basidiomycete fungus *Schizophyllum commune*. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Wirth S. 2018. Volatilome of *Schizophyllum commune*. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Kirtzel J. 2018. Geomicrobiology of *Schizophyllum commune*. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Porsche BF. 2018. Lipid rafts in *Schizophyllum commune* – Einblicke in Zusammensetzung und Lokalisierung. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Riahi M. 2018. Bodenmikrobiologische, physikochemische und umweltanalytische Charakterisierung von Schwermetall-kontaminierten Flächen während der *in situ*-Phytoremediation. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9276D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Untersuchung des Potenzials biologischer Verfahren zur Strahlenschutzvorsorge bei Radionuklidbelastungen (BioVeStRa)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.16 bis 31.05.19	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 416504,40 €
Projektleiter: Prof. Dr. Steinhauser	E-Mail-Adresse des Projektleiters: 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). Des weiteren bringt das IRS seine umfangreiche Kompetenz auf den Gebieten der Radioanalytik und ortsaufgelösten 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: Zwei Übersichtsartikel zur Phyto- bzw. Mycoremediation von Strontium mit den Titeln: „Radiostrontium transport in plants and phytoremediation“, „Mushrooms: from nutrition to mycoremediation“ sowie ein weiterer zur Rolle des K bei der Cs-Aufnahme durch Pflanzen, mit dem Titel „Potassium and its role in cesium transport in plants“ wurden veröffentlicht.

AP 6.1: Vom Projektpartner VKTA wurde ein Fass Sr-90-kontaminierter Boden vom Standort des ehemaligen Forschungsreaktors Dresden-Rossendorf beschafft.

AP 9.1: Die Messung des Radionuklidtransfers aus Topfexperimenten unter Laborbedingungen (^{137}Cs und ^{85}Sr) wurde inzwischen auch für die Winterroggen-Pflanzen beendet. Bezüglich des Unterschieds zwischen den Transferfaktoren der einzelnen Gruppen (S.C., L.N., Kontrolle) zeigt sich ein ähnliches Bild wie für die Kartoffelpflanzen. Innerhalb eines 95%-Konfidenzintervalls lassen sich keine signifikanten Unterschiede in der Radionuklidaufnahme zwischen den beiden Pilz- und der Kontrollgruppe nachweisen, die auf eine wesentliche Immobilisierung der beiden Radionuklide durch Pilzmyzel hindeuten würden.



Abbildung 6: Winterroggen aus den Klimakammern am IRS.

AP 13.1: In einer letzten Ukraine-Exkursion im Oktober wurden die im Frühsommer ausgepflanzten Kartoffeln geerntet (siehe Bild) und verarbeitet. Die Ernte an Kartoffelknollen war insgesamt befriedigend. Es wurden aus allen drei Gruppen (S.C, L.N., ctrl) jeweils Pflanzen zur Bestimmung des Nuklidtransfers geerntet. Des Weiteren wurden Bodenproben aus dem individuellen Wurzelbereich der einzelnen Pflanzenproben genommen, um der Heterogenität der Kontamination bei der Bestimmung der Transferfaktoren Rechnung zu tragen.



Abbildung 2: Kartoffelernte auf dem Versuchsfeld in der Tschernobyl-Sperrzone, Okt. 2019.

AP 13.2. Um Speziation und Mobilität des Radionuklidinventars auf den Tschernobyl-Böden besser charakterisieren zu können, wurde eine Methode entwickelt um noch immer nicht aufgelöste Brennstoffpartikel aus den Versuchsböden zu isolieren. Das Ausmaß an noch vorhandenen Mirko-Brennstoffpartikeln („hot particles“) im Boden war – wie schon aus den vorhergehenden sequentiellen Extraktionen vermutet – erstaunlich hoch. Insgesamt zwölf dieser Partikel konnten bislang extrahiert und charakterisiert werden, wobei sich zeigte, dass neben den, in der Literatur beschriebenen Partikelklassen, auch weitere Partikelklassen auf dem Versuchsfeld vorkommen, die möglicherweise sekundärer Natur sind.

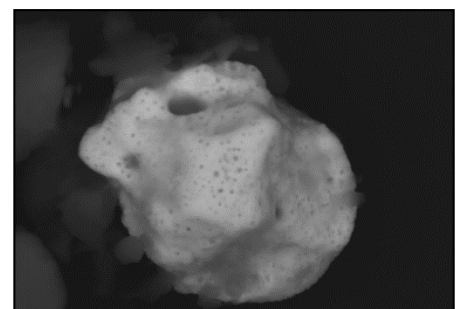


Abbildung 3: "Hot-particle" aus den Versuchsböden aus der Tschernobyl-Sperrzone; Durchmesser ca. 10 µm

Die Messung und Auswertung der Transferfaktoren in die Winterroggenproben aus der Ernte im Mai wurde für die Gruppen S.C. und die

Kontrollproben abgeschlossen. Die Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Einfluss der Pilzinokulation auf die Aufnahme von ^{137}Cs . Die Nuklide ^{241}Am sowie teilweise ^{154}Eu konnten im Boden bestimmt werden, lagen aber in den Pflanzenproben unterhalb der gammaspektrometrisch erreichten Nachweisgrenze. Es wurde eine Master-Arbeit mit dem Thema „Abtrennung und radiochemische Analyse von Europium-154 und Americium-241 in Umweltproben aus Tschernobyl“ durchgeführt. Die hier erreichten Nachweisgrenzen für die Bestimmung von ^{154}Eu und ^{241}Am lagen um den Faktor zwei kleiner als für die chemisch unbehandelten Proben ($\text{NWG}_{\text{Eu-154}} = 1 \text{ mBq/Probe}$, $\text{NWG}_{\text{Am-241}} = 7 \text{ mBq/Probe}$). Für einige Proben wurden im Rahmen der Master-Arbeit Transferfaktoren für Am-241 in die Wurzeln von Winterroggen bestimmt. Hierbei wurde im Mittel ein Transferfaktor von $0,28 [\pm 0,11]$ bestimmt, zwischen den Gruppen mit und ohne Pilzeinsatz wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt.

4. Geplante Weiterarbeit

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

AP 9.3: Für Bodenproben aus den Topfexperimenten, die sich (tiefgekühlt auf $-80 \text{ }^\circ\text{C}$) bei uns im Haus befinden, besteht die Möglichkeit einer Vitalitätsbestimmung der Pilze mittels DNA-Extraktion durch unsere Partner der FSU Jena durchzuführen.

AP 13.2:

Die noch verbleibenden gammaspektrometrischen Messungen der L.N.-Gruppe aus den im Mai geernteten Roggenproben werden demnächst abgeschlossen. Des Weiteren werden die Transferfaktoren für die im Oktober geernteten Kartoffelpflanzen, so weit möglich, gammaspektrometrisch bestimmt.

Ein Schwerpunkt der verbleibenden Arbeiten soll auf der Bestimmung der Bioverfügbarkeit von ^{137}Cs , ^{241}Am und eventuell ^{154}Eu mittels Zeien und Brümmer Extraktion (Schritte 1+2) in individuellen Bodenproben aus der Sperrzone liegen. Hierbei geht es uns darum, den Einfluss der unterschiedlichen Bindungsformen der Radionuklide im Boden (noch immer partikulär gebundener Anteil) aus unserer Bestimmung der Transferfaktoren herauszurechnen, um eine höhere Signifikanz der ermittelten Ergebnisse zu erzielen. Parallele Untersuchungen an den isolierten Partikeln sollen zudem die Interpretation der bisher durchgeführten und zukünftigen sequentiellen Extraktionen, an Böden mit teilweise partikulärer Kontamination verbessern.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

1. **Chatterjee S, Sarma MK, Deb U, Steinhauser G, Walther C, Gupta DK (2017)** Mushrooms: from nutrition to mycoremediation. *Env. Sci. Pollut. Res.* 24:19480-93
2. **Gupta, D.K., Tiwari, S., Chatterjee, S., Walther, C. (2018):** Potassium and its role in cesium transport in plants, *Biologia* (2018) 73:885-896; DOI: 10.2478/s11756-018-0110-x
3. **Gupta, D.K., Schulz, W., Steinhauser, G., Walther, C. (2018):** Radiostrontium transport in plants and phytoremediation, *Environmental Science and Pollution Research* (2018) 25:29996–30008; DOI: 10.1007/s11356-018-3088-6
4. **Schulz, W., Gupta, D.K., Riebe, B., Steinhauser, G., Walther, C. (2019):** Sorption of radiostrontium on different soils. *Applied Geochemistry*, 101:103-108
DOI: 10.1016/j.apgeochem.2019.01.001

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018	Förderkennzeichen: 15S9401A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Universität Kassel – Fachbereich Maschinenbau Institut für Arbeitswissenschaft und Prozessmanagement Arbeits- und Organisationspsychologie 34132 Kassel	
Vorhabenbezeichnung: SiKoR – Sicherer und kosteneffektiver Rückbau	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2017 bis 31.10.2020	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 522.776,40 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Oliver Sträter	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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

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)

In der zweiten Jahreshälfte wurde der Fragenkatalog für das SST am Fachgebiet A&O kontinuierlich weiterentwickelt und optimiert. Insbesondere fand ein Abgleich mit den Kriterien aus dem „DRIMA“-Katalog der IAEA statt. Eine erste finale Version des Fragenkatalogs wurde mit der Bitte um Feedback an die Projektpartner des KIT geschickt. Des Weiteren wurde das Tool im Rahmen eines Workshops mit Experten, darunter dem Leiter der Arbeitssicherheit bei RWE sowie dem Bereichsleiter Marketing und Vertrieb des Simulatorzentrums in Essen, validiert. Die erhaltenen Rückmeldungen wurden in das Tool eingearbeitet. Parallel zur Optimierung des Tools auf inhaltlicher Ebene fand eine Weiterentwicklung auch auf technischer Ebene statt. Hier wurde eine gänzlich neue Oberfläche für das Tool in HTML programmiert, die einerseits eine verbesserte Handhabung und Anpassbarkeit der Inhalte im Vergleich zur vorherigen, excel-basierten Version erlaubt sowie andererseits einen besseren Ergebnisoutput zur Verfügung stellt. Das neu gestaltete SST erlaubt darüber hinaus eine Verknüpfung mit dem vom KIT angefertigten Maschinen- und Verfahrenskatalog.

Im Oktober 2018 hielten zwei KollegInnen von A&O auf Einladung der IAEA im Rahmen des Kongresses „Annual Forum of the International Decommissioning Network“, welcher vom 24.10.-26.10.2018 in Avignon, Frankreich, stattfand, einen Vortrag mit dem Titel „Research activities on the use of virtually supported planning and assistance in decommissioning“, durch welchen das Projekt „SiKoR“ und die bisher im Rahmen des Projektes erzielten Ergebnisse einem internationalen Expertenkreis des kerntechnischen Rückbaus vorgestellt werden und zudem internationale Kontakte mit Mitarbeitern von Vattenfall und dem TÜV Nord geknüpft werden konnten.

Anfang November 2018 fuhren vier KollegInnen von A&O und KIT zur Firma „Dimu“ in Berlin, um eine für die Dauer von vier Monaten im Rahmen des Projekts gemietete Diamantseilsäge abzuholen und von der verantwortlichen Fachkraft vor Ort eine ausführliche Einweisung in deren Funktionsweise zu erhalten. Die Hinweise zum fachgerechten Aufbau der Seilsäge sowie die spezifische Sicherheitseinweisung zur Inbetriebnahme der Maschine wurden mit einer Videokamera aufgezeichnet. Darüber hinaus wurde mithilfe der Eye-Tracking-Brille des Fachgebietes A&O, welche die Fachkraft bei der Sicherheitseinweisung trug, eine Aufnahme von deren Blickverhalten angefertigt.

Mitte November 2018 kamen die KollegInnen des KIT nach Kassel, um im VS am Fachgebiet A&O eine Safety-Scanning-Session mit dem erarbeiteten Fragenkatalog durchzuführen. Der Fragenkatalog sowie das technisch neu entwickelte Tool wurden in diesem Rahmen zum ersten Mal praktisch validiert und auf dieser Basis weitere Optimierungsmöglichkeiten abgeleitet. Die Safety-Scanning-Session wurde als realitätsgetreu simulierte Planungssession gestaltet, bei der fünf Projektmitarbeitende sowie eine studentische Hilfskraft sechs Stakeholder verschiedener Bereiche des kerntechnischen Rückbaus wie Sicherheit, Finanzen und Personal verkörperten und deren jeweilige Interessen in der von einem Moderator angeleiteten Diskussion vertraten. Auf Basis der durchgeführten Safety-Scanning-Session konnten zum einen wichtiges Feedback gewonnen und zum anderen diverse konkrete Verbesserungsmöglichkeiten bezüglich der Gestaltung des SST abgeleitet werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Zeitraum von November bis Dezember 2018 wurden die Diamantseilsäge sowie ein dazugehöriger Versuchsstand am KIT in Karlsruhe aufgebaut. Im Rahmen eines an diesem Modell zu simulierenden Sägevorgangs sollen im weiteren Verlauf des Projektes sicherheitskritische menschliche Tätigkeitsaspekte anhand von Blickbewegungsdaten mittels Eye-Tracking-Technologie erfasst und analysiert werden. Zu diesem Zweck wird die Seilsäge sowohl von Novizen als auch von Experten eingerichtet und bedient. Mittels Eye-Tracking-Brille werden dabei Daten erhoben, auf deren Basis im Anschluss anhand eines Vergleichs der jeweiligen Blickverhaltensmuster essenzielle Prüfschritte ermittelt und Rückschlüsse über spezifische Sicherheitsrisiken der Tätigkeit abgeleitet werden können.

Am Fachgebiet A&O soll, mit dem nach der ersten praktischen Validierung nochmals überarbeiteten Fragenkatalog, eine weitere Safety-Scanning-Session mit Experten aus dem kerntechnischen Bereich durchgeführt werden.

Anhand der bei dem Seilsägeversuch erhobenen Daten soll im weiteren Projektverlauf durch Kombination der Motion-Capturing- und Eye-Tracking-Technologien ein Assistenzsystem entwickelt werden, das aus den abgeleiteten physischen und psychischen Indikatoren die Beanspruchung ableiten kann. Bei ungünstigen Konditionen kann es den Ausführenden vor schädlichen Haltungen und großer kognitiver Beanspruchung warnen und entsprechend unterstützen. Die bei der Aufgabendurchführung anfallenden Daten sollen als Grundlage für die Bewertung ähnlicher Folgearbeiten dienen. Hieraus kann unter anderem die zu erwartende Dauer der Arbeiten abgeleitet oder optimiert werden. Durch Maßnahmengestaltung kann so die radiologische Exposition des Personals minimiert werden. Die Bewegungsdaten können ferner zur Rückbausimulation in Menschmodelle einfließen. Hierüber lassen sich Bauraumanalysen, mögliche Transportwege für rückgebautes Material oder das Sichtfeld des Ausführenden ableiten. Die nötigen Werkzeuge, deren Position und Geometrie können über Kollisionsanalysetools bei der Planung definiert werden.

Im März 2019 werden die beiden Projektpartner A&O sowie KIT gemeinsam die KONTEC 2019 besuchen, welche vom 27.-29.03.2019 in Dresden stattfinden wird. Prof. Sträter wird im Rahmen dieses Kongresses einen Plenarvortrag mit dem Titel „Entwicklung einer Planungsunterstützung für den sicheren und kosteneffektiven Rückbau“ halten.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2018 bis 31.12.2018		Förderkennzeichen: 15S9401B	
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften Institut für Technologie und Management im Baubetrieb 76131 Karlsruhe			
Vorhabenbezeichnung: SiKoR - Sicherer und kosteneffektiver Rückbau			
Laufzeit des Vorhabens: von 01.11.2017 bis 31.10.2020		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 522.776,40 €	
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 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
- Empfehlung 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 (KIT)

AP 1: Kommunikation, Koordination, Dokumentation & Veröffentlichung

AP 2.2: Zusammenstellung eines Verfahrnskatalogs

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)

Am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb wurde weiter am Kriterienkatalog für die Verfahrens- und Maschinenkataloge (AP 2.2 und 3.2) gearbeitet. Hierfür war ein Feedback von Anwenderseite wichtig. Über bestehende Kontakte und Anfragen konnte ein Anwenderfeedback von Firma Siempelkamp, sat Kerntechnik, dem Kerntechnischen Hilfsdienst (KHG), der Kerntechnischen Entsorgung Karlsruhe (KTE) und Tecnubel eingeholt werden. Hierfür wurden mit den entsprechenden Personen Befragungen durchgeführt. Die ausführliche Recherche von Verfahren gepaart mit dem Anwenderfeedback ergab folgenden Kriterienkatalog für die Verfahren (AP 2.2):

- Ordnungsnummer (ON) nach DIN
- Bezeichnung nach DIN
- Gruppe (2.ON nach DIN)
- Definition nach DIN
- Verfahrenstyp
- Verfahrensbeschreibung
- Anwendungsbereich allgemein
- Anwendungsbereich im kerntechnischen Rückbau
- Besonderheiten
- Bearbeitungsumfeld
- Bearbeitungstiefe
- Vorteile
- Nachteile

und folgenden Kriterienkatalog für den Maschineneinsatz (AP3.2):

- Bezeichnung
- Verfahren
- Fernhantierbarkeit
- Personalaufwand
- Staubemission
- Schadstoffemission
- Leistung
- Werkzeugwechsel erforderlich
- Werkzeugwechsel personell/maschinell
- Abmessung
- Anforderung an die Infrastruktur
- Erforderliche PSA
- Einsatzbereich
- Risiko menschlich
- Risiko technisch
- Bearbeitungsumfeld trocken/nass
- Motor austauschbar
- Ersatzmotoren kurzfristig verfügbar
- Kraftrückkopplung
- Wartungsplatz erforderlich
- Kameratechnik vorhanden/ausreichend abgeschirmt

Gemeinsam mit dem Projektpartner wurde ein Rückbauszenario erarbeitet zur Durchführung der Machbarkeitsüberprüfung der Messsysteme des Projektpartners. Am TMB liefen hierfür Planungen und Vorbereitungen für den Aufbau eines Prüfstandes. Eine Seilsäge wurde besorgt und in einen bestehenden Prüfstand eingebettet (AP 2.2).

Die Mitarbeiter des TMB nahmen im November an einer Safety Screening Session in Kassel teil. Hier wurde das bis dahin entwickelte Planungstool des Projektpartners in einem ersten Durchgang getestet und die nächste Optimierungsschleife unterstützt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Eine Weiterführung der Datensammlungen ist geplant. Die bereits gesammelten Informationen bezüglich Verfahren (AP2.2) werden weiter ergänzt. Zusätzlich wird mit der Befüllung des Maschinenkatalogs begonnen (AP3.2). Es wird versucht, Unterstützung von einem Anwender einzuholen, um das Thema Fernhantierungstechnik in den Maschinenkatalog einzupflegen.

Die Kriterienkataloge dienen als Ausgangslage zur Modellierung einer Datenbank. Die Tabellen werden in die 3 Normalform überführt, es wird ein Entity-Relationship-Diagramm (ERD) erstellt.

Es folgt die Inbetriebnahme des Seilsägeprüfstands. Anschließend werden erste Funktionsprüfungen durchgeführt und danach die gemeinsame Durchführung der Messungen mit dem Projektpartner und dessen Messsysteme geplant und umgesetzt. (AP2.2).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

**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