

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
01. Januar - 30. Juni 2019

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Fortschrittsbericht

Forschungsvorhaben zum
Förderkonzept „FORKA -
Forschung für den Rück-
bau kerntechnischer Anla-
gen“

Berichtszeitraum
1. Januar - 30. Juni 2019

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.

Förderkennzeichen	Themenbereich	Seite
01.	Zerlegeverfahren	
15S9286	Kontakterosives Abrichten mehrschichtiger Seilschleifwerkzeuge für die Stahlbeton- und Stahlbearbeitung (KESS)	5
15S9402A	Verbundprojekt: Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser - Teilprojekt: Grundlagenprozesse und Prozessentwicklung	9
15S9402B	Verbundprojekt: Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser - Teilprojekt: Entwicklung einer Prozesssteuerung für Hybrid-Trennverfahren unter Wasser	12
15S9404	Innovatives Seilschleifkonzept für die Bearbeitung von Stahl	15
15S9408	Automatisierte Zerlegung von Reaktordruckbehältereinbauten mit Hilfe von Unterwasser-Lasertechnik	19
02.	Dekontaminationsverfahren und Gebäudefreigabe	
15S9403A	Verbundprojekt: Automatisierte Dekontaminationskabine für den Einsatz beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Dokumentation 4.0	22
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	25
15S9403C	Verbundprojekt: Automatisierte Dekontaminationskabine für den Einsatz beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Entwicklung und Konstruktion einer vollautomatisierten Dekontaminationskabine mittels Hochdruckwasserstrahlen	29
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	32
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	35
15S9413A	Verbundvorhaben: "Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen"; Teilprojekt: „Verfahrensentwicklung zur Dekontamination und Konditionierung der Prozessmedien einschließlich Gewinnung/Herstellung und Charakterisierung von Betonproben	38
15S9413B	Verbundvorhaben: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung von radioaktiv kontaminierten Zementstein mittels elektrohydraulischer Fragmentierung	40
03.	Abfallbehandlung, Abfalldeklaration, Zwischenlagerung	
15S9266A	Verbundprojekt: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS)	42
15S9266B	Verbundprojekt: Entsorgung von radioaktivem Quecksilber und quecksilberhaltigen Reststoffen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen (PROMETEUS)	45
15S9400	Automatisierte, rechnergestützte Verpackungsplanung zur Reduzierung der Massen und Volumina der Abfallgebinde für das Endlager Konrad	48
15S9405A	Verbundprojekt: Konzeptstudie zur Entsorgung von aktiviertem Beryllium aus Forschungsreaktoren - Teilprojekt: Dekontamination, Konditionierung und Verwertung von bestrahltem Beryllium (KONEKT)	51

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
15S9405B	Verbundprojekt: Konzeptstudie zur Entsorgung von aktiviertem Beryllium aus Forschungsreaktoren - Teilprojekt: Inventarisierung und Randbedingungen zu Endlagerung von bestrahltem Beryllium (KONEKT)	54
15S9406A	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Entwicklung und Bau der Messanlage	57
15S9406B	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Methoden- und Softwareentwicklung	60
15S9406C	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Online-Messungen des Neutronenflusses	63
15S9407A	Verbundprojekt: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit - Teilprojekt: Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Konditionierungsverfahren mit Nuklidseparation zur Volumenreduktion	66
15S9407B	Verbundprojekt: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit - Teilprojekt: Entwicklung und Erprobung von Verfahrensansätzen zur Vergasung von Reaktorgraphit für die optimale Abtrennung radioaktiver Kontaminationen	69
15S9410A	VP: Charakterisierung und Quantifizierung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie - Teilprojekt: Optimierung der Entscheidungsmessung und Freigabemengen	72
15S9410B	VP: Charakterisierung und Quantifizierung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie - Teilprojekt: Entwicklung eines Systems zur routinemäßigen Bestimmung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie	76
15S9411	Verbesserung der quantitativen Datenauswertung für die zerstörungsfreie Charakterisierung radioaktiver Behälter und Objekte	79
05.	Mensch und Organisation	
15S9401A	Verbundvorhaben: Sicherer und kosteneffektiver Rückbau (SIKOR) - Teilvorhaben: Planung und Durchführung zuverlässiger Personalhandlungen	81
15S9401B	Verbundvorhaben: Sicherer und kosteneffektiver Rückbau (SIKOR) - Teilvorhaben: Technische Risikoaspekte	85

Berichtszeitraum: 01.01.2018 bis 30.06.2019		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 30.11.2019		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 Selbstschärfeeffekts kommen im Gegensatz zur Gesteinsbearbeitung bei der Trennung von Metall heute lediglich einschichtige Schleifperlen zum Einsatz. Mehrschichtige Perlen haben aufgrund der Mehrzahl an Kornlagen Standzeitvorteile, müssen jedoch bei der Metallbearbeitung gezielt abgerichtet werden. Aufgrund der Metallbindung der Perlen bietet sich hierfür das kontaktersive Abrichten (ECDD - Electro Contact Discharge Dressing) an. Mit diesem Verfahren kann die Bindung zurückgesetzt werden, sodass neue, scharfe Körner in den Eingriff gelangen. Die Leistungsfähigkeit des Seilschleifens beim trockenen Einsatz an metallischen Strukturen soll auf diese Weise erhöht werden.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1 Anforderungsprofil ECDD-Einheit

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

AP 2 Entwicklung, Bau und Applikation der ECDD-Einheit

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

AP 3 Inbetriebnahme, Stellgrößenuntersuchungen

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

AP 4 Vergleichs- und Einsatzuntersuchungen

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

AP 5 Spezifikation und Herstellung des Prototyps

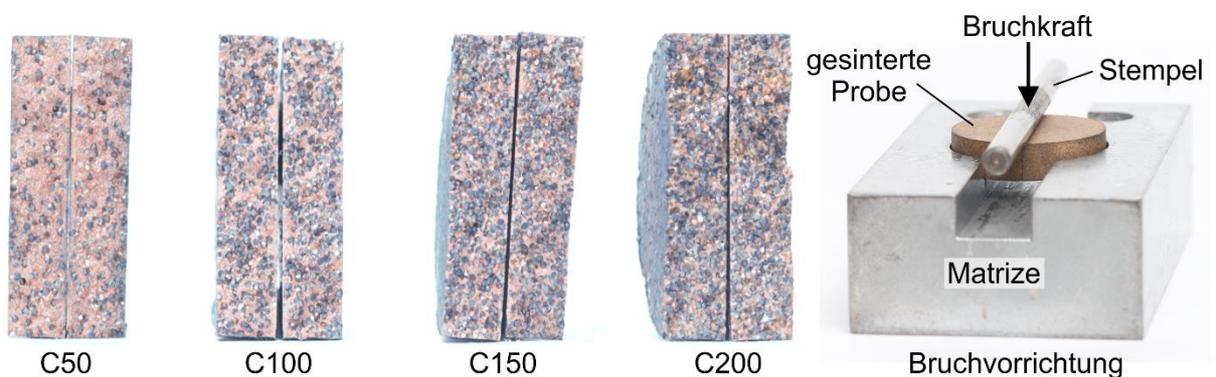
Über Anpassungen der Bindungszusammensetzung der Schleifperlen wird angestrebt, die Effektivität des ECDD zu maximieren und ein optimales Abrichterergebnis zu erzielen.

AP 6 Prototypische Umsetzung der Ergebnisse

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP5: Am IFW wurden gesinterte Trennschleifsegmente für Analogieversuche hergestellt. Diese wurden in Abhängigkeit der verwendeten Sinterparameter auf ihre Bruchzähigkeit und kontaktersive Abrichtbarkeit hin untersucht. In Bild 1 sind die hergestellten Trennschleifsegmente mit unterschiedlichen Diamantkornkonzentrationen dargestellt. Dabei wurden die Konzentrationen von C50 bis C200 in vier Stufen variiert sowie unterschiedliche Korngrößen (D602 und D851) und Kornbeschichtungen (TiC) zur verbesserten Anbindung untersucht. Unabhängig von der Korngröße weisen die Trennschleifsegmente bis zu einer Konzentration von C150 noch eine Bruchspannung von über 300 N/mm^2 auf. Für C200 sinkt diese bereits auf 200 N/mm^2 und niedriger, so dass der Einsatz als Trennschleifsegmente auf Seilschleifwerkzeugen aufgrund der dort herrschenden Einsatzbedingungen mit hohen Schlagbelastungen nicht mehr in Frage kommt. Welche Konzentration für den Schärf- und Trennschleifprozess am besten geeignet ist, wird in weiteren Einsatzversuchen untersucht werden.



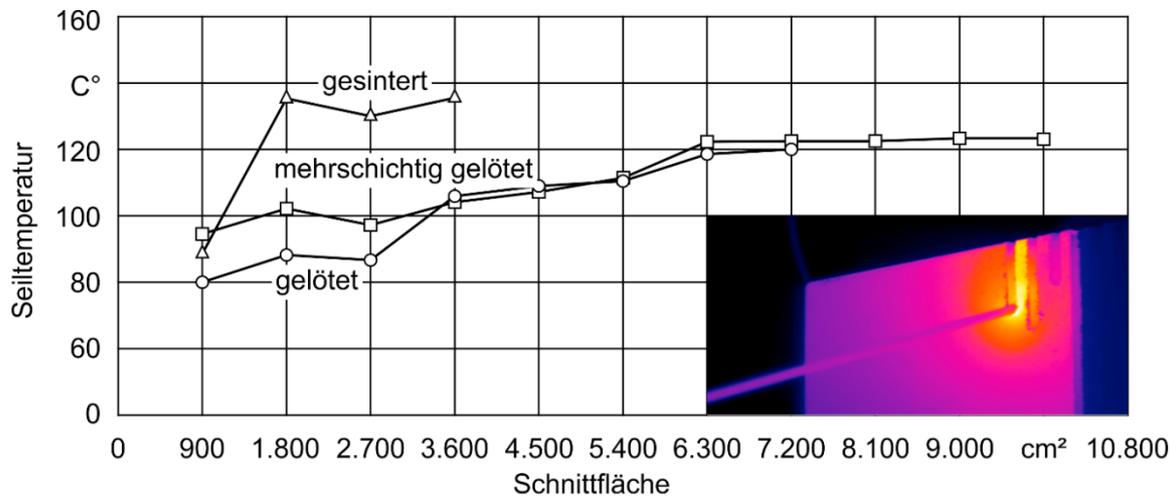
Har/94918 © IFW

Bild 1: Bruchflächen von gesinterten Trennschleifsegmenten mit unterschiedlicher Kornkonzentration

AP6: Für die Einsatzversuche der neu entwickelten mehrschichtig gelöteten Seilschleifwerkzeuge wurden Trennschleife in Stahl S355 mit einer Schnittlänge von 500 mm und 11 m Seillänge durchgeführt. Mit einer Wärmebildkamera wurden die Temperaturen des Seilschleifwerkzeuges nach dem Austritt aus der Trennfuge aufgenommen. Die dabei entstehenden Temperaturen wurden denen am Markt verfügbarer einschichtig gelöteter und gesintertter Werkzeuge gegenübergestellt (Bild 2). Temperaturen oberhalb von $100 \text{ }^\circ\text{C}$ gelten als besonders schädlich für die Gummierung der Seilschleifwerkzeuge. In diesem Bereich verschleißt die Ummantelung besonders schnell und führt zu einem Versagen des Seilschleifwerkzeuges bevor die Schleifperlen ihr Laufzeitende erreicht haben. Die nicht für den Einsatz in Stahl gedachten gesinterten Seile überschreiten die $100 \text{ }^\circ\text{C}$ bereits nach einer Schnittfläche von 1.100 cm^2 . Die einschichtig gelöteten Werkzeuge erreichen diese Grenze erst ab einer Schnittfläche von 3.400 cm^2 . Die mehrschichtig gelöteten Werkzeuge überschreiten diese Grenze bereits ab 3.000 cm^2 . Danach gleichen sich die Temperaturverläufe der ein- und mehrschichtigen Seilschleifwerkzeuge an.

Die Kornüberstände beider gelöteten Werkzeuge betragen beim Erreichen der $120 \text{ }^\circ\text{C}$ -Grenze im Mittel $100 \text{ }\mu\text{m}$. Durch das kontaktersive Schärfen der mehrschichtig gelöteten Werkzeuge und erzielten Kornüberstände von über $120 \text{ }\mu\text{m}$ konnte die Schnitttemperatur wieder auf unter $100 \text{ }^\circ\text{C}$ abgesenkt werden. Im weiteren Schnittverlauf wird die Temperaturgrenze von $120 \text{ }^\circ\text{C}$ bereits nach einer Schnittfläche von 2.700 cm^2 erreicht. Diese Ergebnisse weisen auf das Potential des In-Prozess-Schärfens hin, die Prozesstemperatur auf ein für die Ummantelung des Seils unkritisches Niveau absenken zu können. Durch die in diesem Versuch nur sehr geringe Kornüberstandserhöhung von $20 \text{ }\mu\text{m}$ bei einem mittleren Diamantkorndurchmesser

von 602 μm wurde zudem noch nicht die nächste Kornlage scharfer Diamanten freigelegt. In weiteren Untersuchungen soll das Potential des kontinuierlichen Nachschärfens und das eines direkten Freilegens der nächsten Kornlage untersucht und miteinander verglichen werden, um eine Aussage über die prognostizierte Wirtschaftlichkeit treffen zu können.



Prozessparameter

$v_c = 23 \text{ m/s}$
 $v_f = 3 \text{ mm/min}$

Seilschleifwerkzeuge

Länge 11 m
 gesintert
 gelötet
 mehrschichtig gelötet

Werkstoff

Stahl S355
 Schnittlänge 500 mm



Har/94916 © IFW

Bild 2: Temperaturverläufe des Seilschleifwerkzeugs beim Trennschleifen von Stahl S355

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP5: Sintern und Einsatz weiterer Bindungstypen (NiTi, TiCr)

AP6: Fortführung der Einsatzversuche mit mehrschichtig gelöteten Seilschleifwerkzeugen und In-Prozess-Schärfen

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

Denkena, B., Grove, T., Harmes, J. (2018): Kontakterosives Schärfen von Seilschleifwerkzeugen, DIHW, Ausgabe 2, 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, S. 60-63

Denkena, B., Grove, T., Harmes (2019): Electroerosive sharpening of multilayer brazed grinding segments, 14. Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ (KONTEC), Dresden

Zudem ist ein Beitrag im Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren sowie eine Veröffentlichung im International Journal of Advanced Manufacturing Technology (IJAMT) geplant.

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019		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 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 Wärmequellenwahl. 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 Plasmabrenner, der für den Abschluss von AP 4 als mögliches Vorwärmverfahren getestet werden soll, wurde mit dem Hersteller aufgebaut und in Betrieb genommen. Dafür wurde der bereits entwickelte Prüfstand, zur Untersuchung der Wärmeeinbringung unterschiedlicher Verfahren sowie für die Durchführung der späteren Trennversuche im Berichtszeitraum, modifiziert. Die Anlagentechnik und die entsprechenden Halte- und Montagevorrichtungen wurden an den Plasmabrenner sowie an den zu untersuchende Prozess angepasst (AP 7). Da die Lieferung und der Aufbau verzögert erfolgten, sind im Berichtszeitraum die ausstehenden gerätequalifizierenden Vorversuche mit der Plasmatechnologie vorgenommen worden.

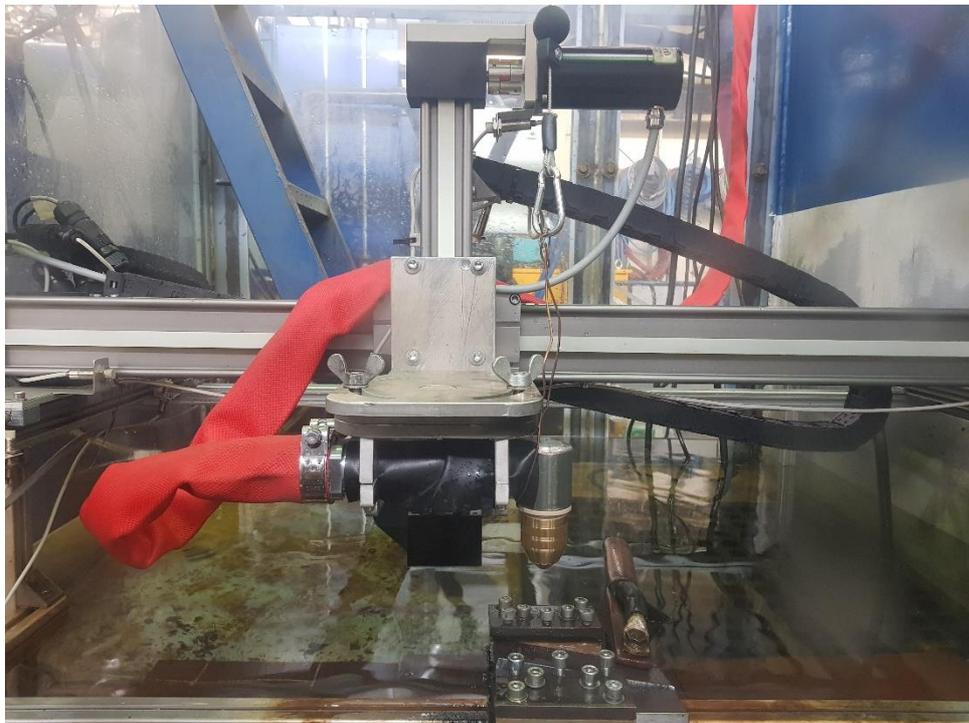


Abbildung 1: Plasmabrenner für den Unterwassereinsatz im Versuchsbecken

Erste Trennschnitte sowie Parameterstudien zum Vorwärmprozess mittels Plasmabrenner wurden auf dem modular aufgebauten Versuchsstand mit einem 3-Achs Manipulator, der mit einer frei programmierbaren CNC-Steuerung gekoppelt ist durchgeführt. Der Aufbau des Versuchsstandes befindet sich in einem Wasserbecken, in dem die Vorversuche unter ca. 30 cm Wasserüberdeckung durchgeführt wurden.

- Die Schallmesstechnik wurde in Betrieb genommen und qualifiziert, weiterhin wurde die Integration der Messtechnik in den Versuchsaufbau vorgenommen (AP 7). Die Algorithmen zur Auswertung und Aufbereitung der Schalldaten wurden in Grundversionen erstellt und erlauben eine Positionsbestimmung einer Schallquelle mittels Trilateration (AP 9). Als Grundannahme für die Datenaufbereitung gilt, dass das Schallereignis

auf dem Werkstück hauptsächlich vom Prozess ausgelöst wird und somit die Hauptkomponente des gemessenen Körperschalls darstellt. Das Schallereignis pflanzt sich im Werkstoff fort und kann auf beliebigen Stellen auf der Werkstückoberfläche aufgezeichnet werden. Durch den Abstand von Schallereignis und Messpunkt ergibt sich eine spezifische Signallaufzeit. Die Laufzeitunterschiede der Signale lassen bei bekannten Sensorpositionen eine Positionsbestimmung der Schallquelle zu. Zur Positionsbestimmung sind auf der Ebene, bei bekanntem Schallsignal zwei Sensoren notwendig, bei kontinuierlichen, beweglichen Signalen wird ein dritter Sensor als Referenzwert notwendig. Das beschaffte System erlaubt die simultane Erfassung von vier Sensoren und somit eine robustere Positionsbestimmung durch die Redundanz der Messdaten. Weiterhin stehen durch die Nutzung von vier Sensoren auch nach erfolgter kompletter Werkstückdurchtrennung für beide Schnittseiten noch Daten zum Körperschall zur Verfügung, so dass auch der Schnitterfolg anhand der Messdaten überprüft werden kann. Als geeignet zur Bestimmung des Laufzeitunterschiedes hat sich ein Algorithmus erwiesen der durch eine Variation des Zeitversatzes den Unterschied zwischen zwei Signaldatensätzen minimiert.

- Das optische Aufzeichnungssystem wurde in den Versuchsaufbau integriert (AP 7) und in Betrieb genommen. Die Algorithmen zur Auswertung befinden sich aktuell in Bearbeitung (AP 9). Geplant ist eine Auswertung der Farbkomponentenintensität des während der Schnitte aufgezeichneten Videomaterials.
- Das für den Berichtszeitraum geplante Projekttreffen musste auf Grund von Terminfindungsschwierigkeiten auf den Beginn des nächsten Berichtszeitraums verschoben werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Finaler Abschluss der Arbeiten aus AP 4. Die resultierenden Laufzeitverschiebungen der aktuellen Arbeitsprogramm Punkte durch die verzögerte Inbetriebnahme konnten durch die Bearbeitung von Teilaspekten späterer Arbeitsprogramm Punkte kompensiert werden.
- Fertigstellung der Auswertungsalgorithmen für Körperschall und optische Daten. Für das Konzept zur Überwachung des thermischen Schneidprozesses mittels akustischer Signalauswertung mit entsprechender Hard- und Software an dem Demonstrator soll umgesetzt werden, um einen Nachweis des Trennens dickwandiger Bauteile unter Wasser erbringen zu können.
- Bearbeitung von AP 9 „Durchführung und Auswertung der Versuche mit den ausgewählten Wärmequellen“. Bei diesen Versuchen kommen in der frühen Phase autogene, induktive und plasmabasierte Vorwärmung zum Einsatz da sich alle Verfahren als prinzipiell geeignet erwiesen haben. Die Auswertung der Daten aus AP 9 liefert die erforderlichen Daten für die folgenden Arbeitsprogramm Punkte.

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: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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 Fernhandhabung des Verfahrens erforderlichen hohen Prozesssicherheit verbinden. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in der Entwicklung eines Prototypen umgesetzt und eine Prozessüberwachung mit zugehöriger Prozessregelung entwickelt. Ziel ist die Umsetzung in einer Demonstratoranlage, die reproduzierbare Trennschnitte an Bauteilen mit Materialstärken zwischen 130mm und 500mm ermöglicht.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

Im Berichtszeitraum wurden Arbeitsergebnisse mit der Universität Hannover ausgetauscht und diskutiert. Im Wesentlichen wurden dabei die Resultate der weiter verfeinerten 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 Pflichtenheftes (AP7) einbezogen.

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

Im Vordergrund für die Planung der Prototypenanlage steht die Definition der Schnittstellen zur übergeordneten Steuerung. Dies bezieht sich vor allem auf den Signalaustausch zur Steuerung und Regelung des Verfahrens. Die Signale der akustischen und thermischen Prozessüberwachung bilden dabei eine entscheidende Regelgröße. In Abhängigkeit davon werden die prozessrelevanten Parameter wie Gasdrücke und Vorschubgeschwindigkeit gesteuert und an die Aktoren übermittelt.

Die Architektur der Prozessleittechnik der übergeordneten Steuerung wurde in Grundzügen festgelegt und abgestimmt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm-punkten)

Während der im zweiten Halbjahr geplanten Workshops zusammen mit der Universität Hannover wird AP7 „Pflichtenheft fernhantierte thermische Zerlegung“ abgeschlossen und die Spezifikationen für die Messtechnik zu AP9 „Prototypentwicklung und -bau“ weitergeführt. Ziel ist die Bestellspezifikation für das zu beschaffende Equipment zu finalisieren und den Bestellvorgang einzuleiten.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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 Selbstschärfeffekt 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 der 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

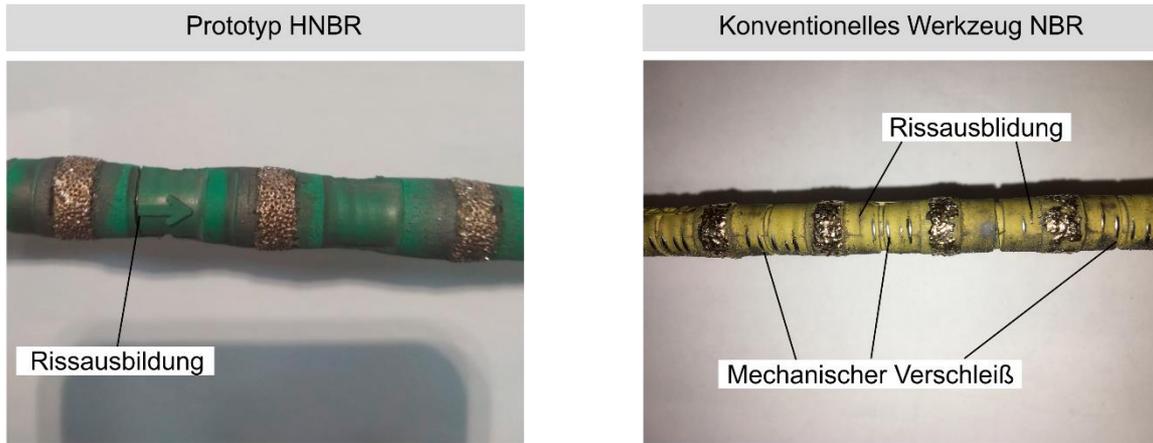
Die gewonnenen Erkenntnisse werden zur Entwicklung eines neuen Werkzeugkonzepts verwendet und dessen Leistungsdaten bestimmt.

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 2: Zur Untersuchung der Eignung unterschiedlicher Vergusswerkstoffe für Seilschleifwerkzeuge wurden zwei Prototypenseile gefertigt. Hier wurde ein hydrierter Acrylnitrilbutadien-Kautschuk (HNBR) sowie eine Fluor-Kautschuk-Mischung (FKM) als Vergusswerkstoff eingesetzt. Diese sind beide ohne Adaption im konventionellen Herstellungsprozess einsetzbar und besitzen gegenüber dem konventionellen Vergusswerkstoff (ca. 100 °C) eine erhöhte Temperaturbeständigkeit. Diese liegt für HNBR bei ca. 150 °C und für FKM bei ca. 200 °C. Es zeigt sich jedoch, dass das Hauptkriterium für die Eignung eines Vergusswerkstoffes neben der Temperaturbeständigkeit die Anbindung an das Trägerseil ist. Durch eine zu geringe Anbindung zwischen dem Vergusswerkstoff und dem Trägerseil ist eine Fixierung der Schleifsegmente nicht gewährleistet. Dadurch kommt es unmittelbar zum Versagen der Gummierung, dem axialen Verschieben der Segmente und damit zum Freilegen des Trägerseils sowie zum Versagen der Gummierung. Im Fall der FKM-Mischung ist bereits im Auslieferungszustand ein Lösen einzelner Schleifsegmente vom Trägerseil mit händischem Kraftaufwand möglich. Deshalb ist von einer zu geringen Anbindung auszugehen. Da die FKM-Mischung jedoch eine sehr hohe Temperaturbeständigkeit aufweist, werden hier in einem weiteren Iterationsschritt andere Haftvermittler eingesetzt, um eine ausreichende Anbindung an das Trägerseil zu erreichen. Im Falle des HNBR-Kautschuks wird eine hohe Anbindung zum Trägerseil erreicht. Dies zeigt sich in ersten Einsatzuntersuchungen (Abbildung 1). Hier kommt es nach einer Schnittfläche von 3.500 cm² zu keinem Versagen der Gummierung. Lediglich vereinzelte Risse in der Gummierung sind zu erkennen, die auf die hohe Biegewechselbelastung in der Seilschleifanlage zurückzuführen sind. Im Vergleich dazu treten bei einer konventionellen Gummierung (NBR-Basis) und der gleichen Schnittfläche neben Rissen auch vermehrt mechanischer Verschleiß auf. Dieser äußert sich durch die sichtbaren Abstandsfedern zwischen den Schleifsegmenten. Das Prototypenseil mit HNBR-Gummierung zeigt hier das Potential auf, eine höhere Standzeit gegenüber konventionellen Gummierungen zu erreichen. Eine vollständige Lebensdaueruntersuchungen und eine Ermittlung der Prozessgrenzen ist der nächste Schritt dieses Forschungsprojekts.



Prozess	Werkzeug	Werkstück
$v_c = 23 \text{ m/s}$	$d_s = 10,3 \text{ mm}$	S355JR
$v_f = 3 \text{ mm/min}$	$n_s = 44 \text{ 1/m}$	$l_c = 250 \text{ mm}$
$F_V = 2.000 \text{ N}$		

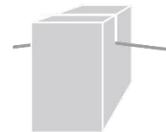
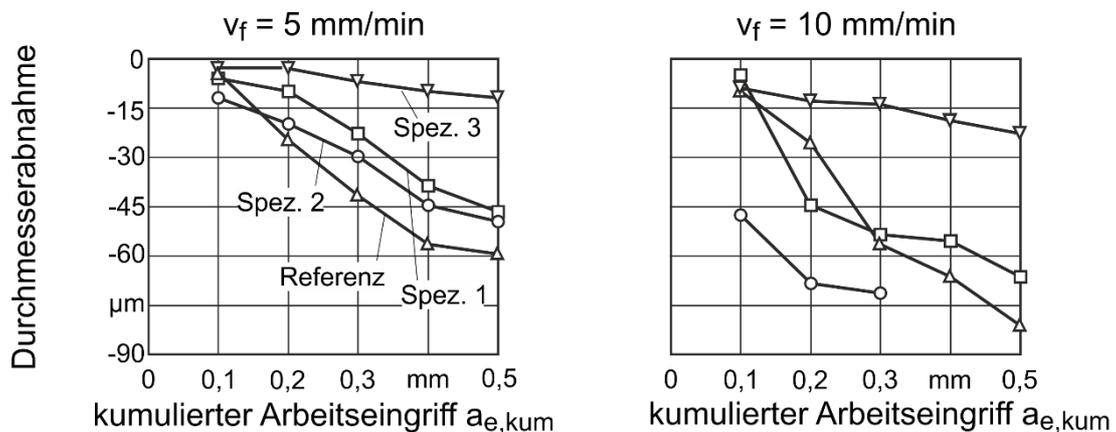


Abbildung 2: Vergleich des Vergusswerkstoffes nach einer Schnittfläche von 3.500 cm²

AP 3: Zur weiteren Untersuchung der keramisch-metallischen Hybridbindung wurde der Verschleißfortschritt in Form der Profilabnahme mit unterschiedlichem keramischen Bindungsanteil untersucht. Zwar konnte bereits ein Selbstschärfeeffekt aufgezeigt werden, jedoch war eine Bewertung des Potentials zur Standzeiterhöhung der neuartigen Bindung bisher nicht möglich. In Abbildung 2 ist die Durchmesserreduktion von Schleifsegmenten mit unterschiedlichem keramischen Bindungsanteil der Referenz (vakuumgelötetes Diamantsegment) gegenübergestellt. Dabei ist zu erkennen, dass besonders die Spezifikation 3 mit einem mittleren keramischen Bindungsanteil einen um Faktor 4geringeren Profilverschleiß gegenüber der Referenz aufweist. Somit bietet diese Spezifikation das Potential, in Kombination mit einem neuen Vergusswerkstoff eine deutliche Standzeiterhöhung zu erzielen. Diese Hypothese wird in nachfolgenden Versuchen untersucht.



Prozess:	Werkzeuge:	Werkstück:
$v_c = 20 \text{ m/s}$	Bindung: keramisch-metallisch	S355JR
$v_f = \text{var.}$	Metall. Bindungsanteil: var.	
$a_e = 0,1 \text{ mm}$	Referenz: Husqvarna C1000	

Abbildung 3: Durchmesserabnahme unterschiedlicher Bindungsspezifikationen

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2: Iterative Anpassung der FKM-Vergussmasse und vollständige Lebensdaueruntersuchungen.

AP 3: Fertigung von Prototypenseilen mit hybriden Schleifsegmenten und neuer Vergussmasse.

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.

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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 Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) damit begonnen einen Versuchsstand für das Unterwasserschneiden im Labormaßstab aufzubauen (AP2). Mit Abschluss von AP1 wird mit dem Design und Bau der Schneidoptik begonnen (AP4). Zeitgleich werden mithilfe einer bereits erprobten Schneidoptik auf die Schneidaufgabe (Edelstahl in 3, 6 und 15 mm Stärke und Zircaloy in 3 mm Stärke) abgestimmte Vorversuche durchgeführt (AP3). Sobald die neue Schneidoptik zur Verfügung steht, werden die Ergebnisse aus AP3 in die Prozessentwicklung mit der neu entwickelten Schneidoptik übertragen (AP6). Begleitend zu AP3 und AP6 wird 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

AP2 (Versuchsaufbau): Das Wasserbecken samt Hebevorrichtung, als auch das Achssystem wurden geliefert und konnten erfolgreich in Betrieb genommen werden. Der Versuchsaufbau konnte somit erfolgreich abgeschlossen werden (Abbildung 4).

AP3 (Vorversuche): Im Rahmen der Prozessentwicklung konnten mit sämtlichen zu untersuchenden Materialien (1.4301 in 3, 6 und 15 mm sowie Zircaloy in 3 mm Blechstärke) bereits erfolgreiche Schneidversuche durchgeführt werden. Hierbei lag das Hauptaugenmerk zunächst auf der Durchtrennung unter Nutzung eines inerten Schneidgases, in diesem Fall Stickstoff. Im Falle der 3 und 6 mm starken Bleche konnten in diesem Zuge bereits erste Schlussfolgerungen auf die zu wählenden Parameter für eine möglichst geringe Gewichtsabnahme der Proben und somit auch einer geringen Kontamination von Luft und Wasser gezogen werden. Nach ersten Erkenntnissen wirkt sich somit eine geringe Streckenenergie positiv auf eine hohe Gratenhaftung sowie eine schmale Schnittfuge aus. Versuche mit variierendem Düsenabstand deuten zudem auf einen signifikanten Einfluss der Düsenposition hin. Dieser Zusammenhang wird weiter untersucht.

Im Zusammenhang mit den Arbeiten in diesem AP wurde zudem eine Software zur Auswertung der Proben entwickelt und programmiert, die einen hohen Automatisierungsgrad und eine tiefgreifende Analyse der Proben ermöglicht.

AP4 (Design und Bau der Schneidoptik): Das Design für die Schneidoptik wird, wie beim Kick-Off-Treffen definiert, auf einer zylinderförmigen Optik mit austauschbaren Köpfen basieren. Die Wechselköpfe unterscheiden sich hierbei in der Auslenkung der Laserstrahlung, wobei zunächst der Winkel 45° betrachtet wurde, da dieser konstruktiv den größten Aufwand erzeugt. Dieser Winkel ermöglicht variables Schneiden von horizontal sowie vertikal positionierten Bauteilen. Das Design konnte während des Projekttreffens noch optimiert werden und kann mit Abschluss der Vorversuche finalisiert werden. Die Wechselköpfe mit den Winkeln 0° und 90° lassen sich darauffolgend ableiten.

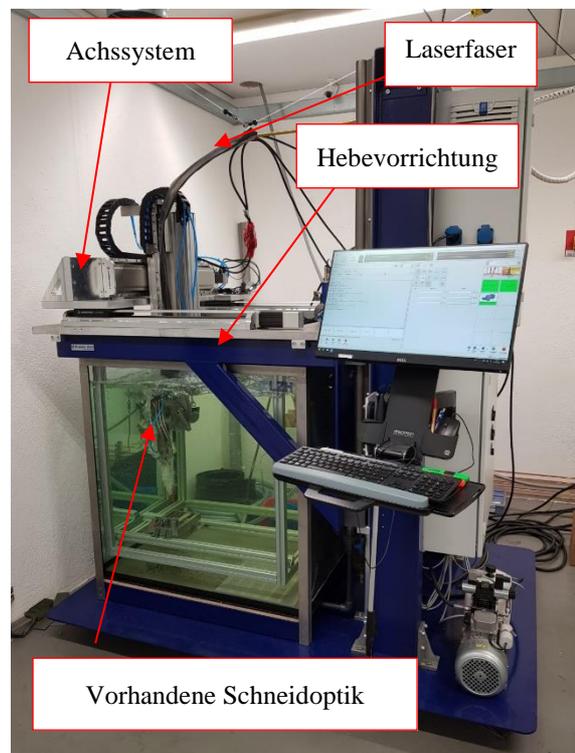


Abbildung 4: Übersicht des abgeschlossenen Versuchsaufbaus (AP2).

AP8 (Sensorsystem): Die Implementierung der Photodiode in den Versuchsaufbau wurde abgeschlossen und das Signal der Photodiode wird seit Beginn der Vorversuche aufgezeichnet. Erste Auswertungen der Signale zeigen eine Korrelation zwischen Schneiderfolg und Signalpegel der Photodiode.

AP10 (Koordination): Am 17. Juni 2019 fand das zweite Projekttreffen beim LZH in Hannover statt. In diesem Rahmen konnten weitere Randbedingungen für die Prozessentwicklung sowie die Spezifikationen für das Design der Schneidoptik abgestimmt werden. Der Fokus der Untersuchungen soll somit zunächst auf das Schneiden von 1.4301 (Edelstahl) mit Blechstärken von 3 und 6 mm gelegt werden, da die Verfügbarkeit von Zircaloy sehr begrenzt ist. Das Parameterfenster in diesem Blechstärkenbereich bietet zudem mehr Spielraum für Optimierungen, als bei den ebenfalls zu untersuchenden Edelstahlproben mit 15 mm Blechstärke. Die

Entwicklung für diese Materialien soll darauffolgend von den Ergebnissen der dünneren Proben abgeleitet werden.

Das nächste Projekttreffen wurde für das 2. Quartal 2020 angesetzt und soll wieder am LZH stattfinden.

4. Geplante Weiterarbeit

AP3 (Vorversuche): Abschluss des Screenings bei 0° Anstellung der Schneidoptik für die Blechstärken 3 und 6 mm für 1.4301 und Durchführung einer vollfaktoriellen Versuchsreihe. Auf Wunsch des Projektpartners wird insbesondere die Nutzung von Druckluft als Schneidgas in die Untersuchungen einfließen. Darauf folgt die Übertragung der Parameter auf Zircaloy in 3 mm Blechstärke sowie 1.4301 in 15 mm Blechstärke und Validierung des Prozesses sowie Untersuchungen zum Schneiden mit 45° Anstellung der Schneidoptik.

AP4 (Design und Bau der Schneidoptik): Fertigstellung des Designs für die neue Schneidoptik und Bestellung der Komponenten. Bevor die Wechselköpfe für 0° und 90° in Auftrag gegeben werden, soll zunächst ein Funktionstest mit dem 45°-Wechselkopf durchgeführt werden.

AP5 (Lasersicherheit): Praxistests zur transmissiven Eigenschaft von Wasser in Bezug auf die eingesetzte Laserstrahlung und die sich darauf ergebenden Sicherheitsaspekte. Die Intensität der Laserstrahlung soll hierbei unter Atmosphäre und unter Wasser verglichen werden. Auf Wunsch der Orano GmbH werden zudem Vergleichstest in Leitungswasser und vollentsalztem Wasser durchgeführt.

AP6 (Prozessentwicklung mit entwickelter Schneidoptik): Nach Fertigstellung der Schneidoptik in AP4 werden die erzielbaren Ergebnisse der neuen Optik anhand der Versuchsergebnisse aus AP3 validiert und entsprechend der Vorgaben und Spezifikationen aus AP1 bewertet.

AP7 (Emissionsanalyse): Zur Ermittlung des Kontaminationsgrades von Wasser und Luft, werden bei ausgewählten Versuchsparametern Luft- und Wasserproben genommen. Zudem sollen die makroskopischen ausgetriebenen Partikel aufgefangen werden um Aufschluss über deren Größenvariation und die Anforderungen an eine Filteranlage zu erhalten.

AP8 (Sensorsystem): Die aufgezeichneten Signale der Photodiode werden anhand des Schneiderfolges der jeweiligen Proben bewertet und kategorisiert. Aus dieser Auswertung wird eine systematische Qualitätssicherung für die spezifischen Proben typen abgeleitet.

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: 01.01.2019 bis 30.06.2019		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 Strahlungsmittel) und der auftretenden Rückstellkräfte, physisch wie psychisch sehr fordernd. Die Einsatzzeiten sind nur kurz und die Tätigkeit ist von Unterbrechungen geprägt. Gesamtziel des Projektes ist die Entwicklung eines Verfahrens zur automatisierten Dekontamination von gering belasteten Bauteilen mit Hilfe des Hochdruckwasserstrahlens und ihre automatisierte Dokumentation. Die Funktionsfähigkeit soll an Hand eines Laborrobotiksystems nachgewiesen werden.

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

WBS 10: Regelmäßige virtuelle Treffen mit Audio- und Bildschirmübertragung finden statt.

WBS 40.10, 40.20: Als Satellitencomputer kommt der auf dem Open Source Projekt Raspberry Pi basierende, nach Industrienormen gefertigte RevPi der Firma Kunbus zum Einsatz. Dieser wurde mit einem analogen und einem digitalen IO-Modul eingerichtet und in einer portablen Box auf einer Hutschiene untergebracht.

Da der RevPi nicht nur die Bus-Schnittstelle der Dekontkabine auslesen, sondern auch die Datenaggregation und semantische Anreicherung übernehmen soll, musste der Systemspeicher des RevPi durch zusätzlichen persistenten Speicher erweitert werden. Die Erweiterung und Auslagerung von Systempartitionen machte diverse Eingriffe in die Standardkonfiguration des Betriebssystems notwendig.

Um die Werte in den IO-Modulen zu lesen oder zu schreiben, muss ein Hardwaretreiber erstellt werden. Dies gelingt über die Webschnittstelle „piCtory“, über die sich die reale Konfiguration der Hardware auf der Hutschiene und ihre Konnektoren abbilden lassen. Darüber hinaus können Regeln für Ein- und Ausgänge der IO-Module definiert werden, mit denen Signale in Werte mit physikalischen Einheiten umgewandelt werden.

Zur Prüfung der grundsätzlichen Funktionalität wurde ein Temperatursensor (PT100) an das analoge IO-Modul angeschlossen und die rückgelieferten Werte mit einem Referenzthermometer verglichen. Die gute Übereinstimmung bestätigte die korrekte Einrichtung in Bezug auf Installation und Treiberdefinition.

Zusätzlich wurden erste Testprogramme auf der Grundlage des Open Source Python Frameworks „revpimodio“ erarbeitet, welches eine Schnittstelle zwischen Hard- und Software darstellt. Neben dem Python Framework lässt sich auch das JavaScript Framework „node-red“ verwenden. Mit dem vorhandenen Testsetup lässt sich die Abwägung für oder gegen ein Software Framework mit Erfahrungswerten untermauern.

Die von der Firma Gesinn-IT angepasste Version der Semantischen Mediawiki wurde auf den RevPi aufgespielt und grundsätzlichen Funktionstest unterzogen.

WBS 60.40: Mit einem Interessenten wurden Gespräche geführt, wie das Geschäftsmodell für den Bau und Vertrieb der Dekontkabine gestaltet werden kann. Grundsätzlich müssen die Möglichkeiten für einen Kauf der Dekontkabine und Verbleib beim Kunden untersucht werden, oder aber die Einrichtung einer Dienstleistungseinheit auch mit Personalgestellung, die im Auftrag von Betreibern tätig wird.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

WBS 40.20: Außer dem Temperatursensor sind noch der Anschluss von weiteren Sensoren (Feuchtigkeit, Nähe, Bewegung) vorgesehen, um die Erfassung von mehreren unabhängigen Datenströmen zu simulieren. Als nächste Aufgabe ist anvisiert, die Übergabe der Daten in gefilterter und aggregierter Form an die Wissensmanagementplattform zur automatisierten Dokumentation so zu gestalten, dass Datenverlust ausgeschlossen wird und die aggregierten Daten zuverlässig in die Wissensmanagementplattform übertragen werden. Anschließend wird der Prototyp über ein weiteres Schnittstellenmodul mit der Robotikplattform verknüpft und die dort anfallenden Daten gezielt erfasst. Diese Daten bilden später den wesentlichen Teil der automatisierten Dokumentation.

WBS 60.10, 60.20, 60.30, 60.40, 60.60.10: Die weit fortgeschrittenen Arbeiten zu den Anforderungen aus dem kerntechnischen Regelwerk werden finalisiert. Hierzu wird ein weiteres Tool verwendet und in die Wissensmanagementplattform eingebunden. Dieses ermöglicht die systematische Erfassung und Verknüpfung von Anforderungen und deren Erfüllung.

WBS 100.10.10, 100.20.10, 100.30.10: In Zusammenarbeit mit der Westfälischen Hochschule wird die Problematik der Hinterschneidung von geometrischen Formen und damit die Unerreichbarkeit für die Dekontamination und die Erkennung dieser durch das Robotiksystem erörtert. Konkrete Maßnahmen werden davon abgeleitet.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

6. Berichte und Veröffentlichungen

Borrmann, F. ; Becker, M.: Automatisierte Dekontkabine für den Kernkraftwerksrückbau. In: ZI! Das Zukunftsmagazin, Mess,- Steuer- und Regeltechnik. (2019), Nr. 02–2019

Borrmann, F. ; Becker, M.: Semantic systems in decommissioning. LiveDecom Kick-Off Meeting im Rahmen der Digidecom 2019, June 19-21 2019, Halden, Norway.

Das AuDeKa-Team, bestehend aus den Mitarbeitern der Westfälische Hochschule Bocholt, der RST und iUS, haben das Projekt anlässlich der Veranstaltung „Forschung trifft Industrie“, die am 27. März 2019 während der KONTEC 2019 in Dresden stattfand, vorgestellt.

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019		Förderkennzeichen: 15S9403B	
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Westfälische Hochschule Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen			
Vorhabenbezeichnung: Audeka			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.18 bis 31.12.19		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 336.638,60 €	
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. 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 und der vorgegebenen weiteren Vorgehensweise wurden folgende Tätigkeiten durchgeführt:

- Optimierung des Abgleiches der Simulation mit dem realen Aufbau
- Umfangreiche Untersuchung an realen Bauteilen, aufbauend auf den einfachen bereits geprüften einfachen Geometrien
- Überprüfung des Kollisionsschutzes bei unterschiedlichen Größen
- Automatisierung des Gesamtablaufes
- Verbesserung der Genauigkeit
- Beschleunigung des Prozesses

Nachfolgend sind zwei Beispiele aus den genannten Punkten zu sehen. Im ersten Beispiel wird die Erkennung eines Ventils, als reales Beispiel, gezeigt. Dieses wurde als Punktwolke aufgenommen. Die Punktwolke wird automatisch gefiltert, so dass fehlerhafte Punkte entfernt werden und die Anzahl der Punkte verringert wird. Weiterhin werden die Punkte zu Flächen zusammgeführt und auf diesen Flächen die Roboterbahnen generiert. Diese werden dann in ein Roboterprogramm überführt. Zu diesem Zweck berechnet die Steuerung die optimale Achsausrichtung, unter Berücksichtigung des Kollisionsschutzes mit Bauteilteilen, bzw. mit der restlichen Peripherie der Zelle. Zum Abschluss fährt der Roboter die Bahnen ab. Der gesamte Prozess läuft automatisiert ab.

Wie man an den Bildern des Beispiels erkennt, können auch komplexe Strukturen bearbeitet werden. Ein weiteres Beispiel zeigt eine durchgeschnittene Rohrleitung. So ein Bauteil wird

öfters im realen Betrieb vorkommen. Auch hier konnte die Funktionsfähigkeit des Konzeptes nachgewiesen werden.

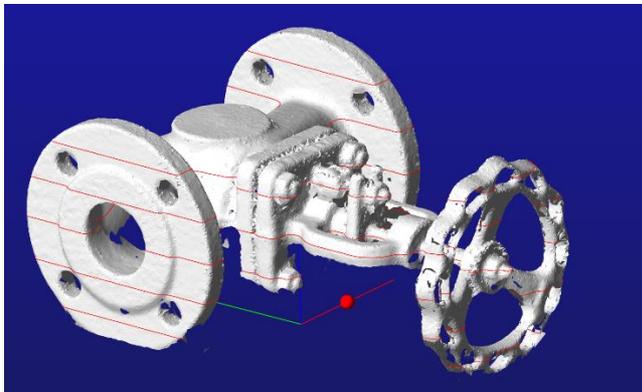
Problematische Formen, wie z.B. Bohrungen können nur in Grenzen bearbeitet werden.

Die Genauigkeit der Scanaufnahmen konnte auf 1mm verbessert werden. Eine weitere Verbesserung – unter 1 mm - ist mit einem weiteren Scansystem, der, robotergestützt, das Bauteil ertastet, erreichbar. Dieser Weg wird derzeit untersucht. Für den Dekontaminationsprozess ist die derzeit erreichbare Genauigkeit jedoch vollkommen ausreichend.

Weiterhin wurden die Prozesszeiten untersucht. Hier konnte, durch verbesserte Algorithmen, die Programmierzeit des Roboters erheblich reduziert werden. Das berücksichtigt insbesondere die Berechnungen der optimalen Achspositionen und die Kollisionsvermeidung.



Reales Bauteil, hier Ventil

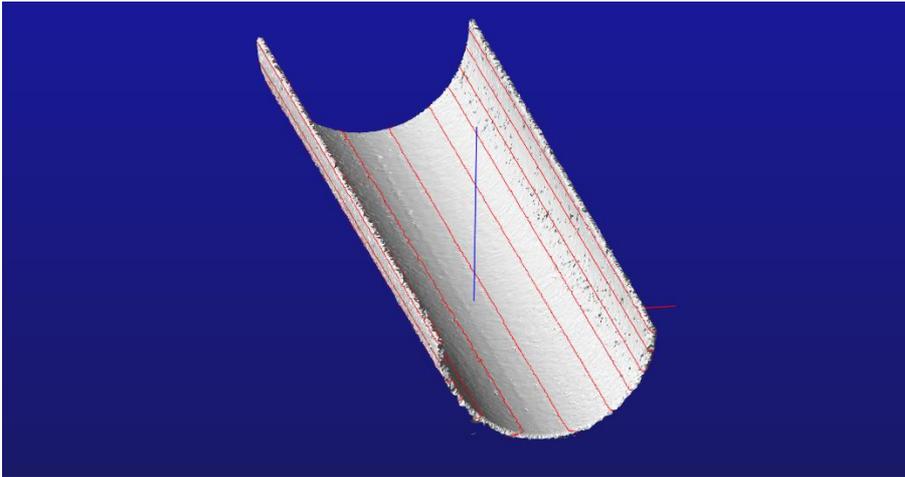


Modelliertes Ventil aus Scanprozess, mit erzeugten Dekontaminierungsbahnen

Unter nachfolgendem Link kann, an einem Beispiel, ein Video des gesamten Prozesses eingesehen werden.

<https://drive.google.com/open?id=1VsQ8En5gUPFbPQOEtV5Mp2KmemyL8lzg>

In einem weiteren Schritt wurde eine teilautomatisierte Version des Verfahrens programmiert. Hier wird die zu fahrende Bahn durch den Mitarbeiter an Hand von Punkten auf der gescanten Oberfläche generiert.



Halbierte Rohrleitung als Beispiel eines realen Bauteils

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im letzten Halbjahr werden die fehlenden Tätigkeiten aus den Arbeitsprogramm Punkten bearbeitet. Hierzu gehören die Simulation der Dekontamination mit entsprechender Wiederbearbeitung und die Berücksichtigung von Reinigungsparametern, wie z.B. Winkel und Art der Düse.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Posterausstellung bei der KONTEC.

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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 Finkenberg	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: m.finkenberg@rst-gmbh.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

WBS-Code	Titel
10.20	Reporting Arbeitsergebnisse RST
10.80.20	Kick-Off RST
20.20	Ermittlung Wissensbereiche und Parameter RST
20.40.20	KM Workshop
20.70.20	Anwenderschulung
60.50	Pflichtenheft Gesamtanlage
60.60.20	Anforderung aus Kundensicht
60.70	Leistungsgrenzen Gesamtsystem
100.10.20	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 10.20:

Es finden regelmäßige virtuelle Besprechungen statt, bei denen die Teilprojektleiter über den aktuellen Stand der jeweiligen Arbeitspakete berichten, Abstimmungen bei Schnittstellenthemen zu den anderen Teilprojekten vorgenommen und die geplante weitere Vorgehensweise abgestimmt wird. Am 01.02.2019 hat ein Halbjahresmeeting bei der WH stattgefunden, bei dem in Anwesenheit einer Vertreterin des Projektträgers der aktuelle Projektstand präsentiert und das, durch die Projektbeteiligten der der WH, entwickelte System vorgeführt wurde.

WBS 60.60.20, 60.70:

Auf der KONTEC 2019 sind diverse Gespräche mit potentiellen Interessenten und Betreibern mit dem Ziel geführt worden, die selbst definierten Anforderungen an das Gesamtsystem zu verifizieren und mögliche darüber hinausgehende Anforderungen heraus zu arbeiten. Hierbei hat sich zum einen herausgestellt, dass die selbst definierten Anforderungen in sehr großen Teilen mit den Anforderungen aus dem Markt übereinstimmen.

Darüber hinaus haben sich aus den unterschiedlichen Gesprächen zwei Themenkomplexe ergeben, die für zukünftige Systeme dem Kunden einen Mehrwert bieten könnten, sofern Sie technisch und wirtschaftlich sinnvoll umgesetzt werden können.

WBS 140.10

Die Spezifizierung der Einzelkomponenten wurde forciert und ist weit fortgeschritten. Die Hauptkomponenten sind benannt, ausgelegt und spezifiziert. Für diese Hauptkomponenten sind technische Gespräche mit potentiellen Unterlieferanten geführt worden und einige Angebote zur Kostenkalkulation sind eingegangen.

WBS 140.30

Parallel zu den Arbeitspaketen 140.10 und 140.70 sind wesentliche Abweichungen des Au-DeKa-Systems zu bereits umgesetzten Projekten mit manuellen Dekontsystemen ermittelt worden. Diese Ergebnisse sind entsprechend in den o.g. Arbeitspaketen berücksichtigt.

WBS 140.70

Die Kalkulationsvorlage ist sukzessive mit Informationen gefüllt worden, wobei viele Unterlieferanten meist aufgrund von hoher Auslastung zugesagte Informationen nicht oder nur sehr schleppend liefern. Das Arbeitspaket ist weiterhin in Arbeit.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

WBS 110.20

Die Problematik von Hinterschneidungen und Bohrungen an Bauteilen wird zusammen mit den Projektteilnehmern von iUS erörtert. Ziel ist es, mögliche Lösungsansätze zu entwickeln, wie das System die Nichterreichbarkeit von möglicherweise kontaminierten Stellen am Bauteil erkennt und darauf reagiert.

WBS 120.10, 120.20

Es werden in enger Zusammenarbeit mit der WH Reinigungsstrategien für definierte einfache geometrische Formen entwickelt. Hierfür muss die Achsbeschränkung des Roboters und des am Roboter angebrachten Equipments, wie z.B. Wasserwerkzeug, Verschlauchung und Verrohrung ermittelt und als Restriktionen in den Reinigungsstrategien eingearbeitet werden.

WBS 140.10, 140.70

Die Spezifizierung der Einzelkomponenten soll im zweiten Halbjahr abgeschlossen werden. Die Ergebnisse und die entsprechenden Angebote werden in die Kalkulation überführt mit dem Ziel einen Richtpreis für das Dekontsystem zu ermitteln.

WBS 140.20, 140.60

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.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es besteht weiterhin kein Bezug zu anderen Vorhaben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Vorstellung des AuDeKa-Projektes durch die Projektteilnehmer im Rahmen der Veranstaltung „Forschung trifft Industrie“ am 27.03.2019 während der KONTEC 2019 in Dresden.

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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 Neutronenflussverteilungen TP: Berechnung der Neutronenflussverteilung 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 Reaktorumgebung 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 Neutronenflussrechnungen 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 eine 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 Neutronenflussmessungen auf Basis von Aktivierungsfolien im Referenzkraftwerk durchgeführt. Zusätzlich sind Messungen in anderen KKW's 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 Gammaskopmetrie oder anderer Methoden werden die entstandenen Aktivitäten gemessen und zur Validierung der Rechnungen genutzt.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 1: Ausgehend von bereits existierenden Modellen im HZDR und an der RWTH Aachen wurde begonnen, ein MCNP Input für das Referenzkraftwerk zu erstellen. Die Anpassung des Modells erfolgte auf Grundlage der Originalkonstruktionsunterlagen des Kraftwerkes. Dadurch konnten bei der Erstellung des Modells die für den Neutronentransport besonders relevanten Reaktoreinbauten sehr genau berücksichtigt werden. Deren Modellierung einschließlich des Druckbehälters ist sehr weit fortgeschritten und wird demnächst abgeschlossen. Auch die Modellierung des Reaktorkerns wurde überarbeitet, so dass jetzt eine äußere Quelle brennstabweise für bis zu 32 Höhenschichten vorgegeben werden kann.

AP 2: Für die Aufbereitung der Quellen wurde ein Programm geschrieben, das die aus dem SIMULATE Output-Files relevanten Daten herausliest und entsprechend aufbereitet. Für jeden Brennstab wurde für 32 Höhenabschnitte die absolute Anzahl der Spaltneutronen, die innerhalb des Zyklus entstanden sind, berechnet. Der mit diesem Programm erzeugte Output-File kann direkt von MCNP genutzt werden. Da diese Quellen die Basis der Rechnungen bilden lag ein Schwerpunkt im Quervergleich mit anderen Daten.

AP 3. Während der Revision des Referenzkraftwerkes erfolgte das Anbringen von Neutronenfluenzmonitoren an verschiedenen reaktornahen Positionen. Zu diesem Zweck wurden 60 Monitorsätze präpariert und teilweise an Seilen befestigt. Die Monitore konnten beginnend in der unmittelbaren Umgebung des RDB bis zum Dampferzeugerraum positioniert werden. Die bereits bestrahlten Probemonitore wurden eingesammelt und für den Transport vorbereitet.

Mit den verantwortlichen Mitarbeitern des Strahlenschutzes von einer weiteren Anlage wurde die Monitorierung des Kraftwerkes geplant und vorbereitet.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 1: Weiterentwicklung des Geometriemodells bis zur biologischen Abschirmung und erste Testrechnungen.

AP 2: Test und Verbesserung der entsprechenden Programme.

AP 3: Monitorierung einer weiteren Anlage.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	Förderkennzeichen: 15S9409B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWTH Aachen, Institut für Nukleare Entsorgung und Techniktransfer (NET)	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts und Dosisleistungsberechnung von reaktor-nahen 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 Projektleiters: 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 reaktornahe 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 4 und 5 werden im Teilprojekt 2 der RWTH Aachen, Institut für Nukleare Entsorgung und Techniktransfer (NET) und AP 2 und 3 im anderen Teilprojekt bearbeitet durch das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V. (HZDR), Institut für Ressourcenökologie (IRE). Die Durchführung des AP1 erfolgt durch die beiden beteiligten Institute.

- AP 1: Erstellung des Geometriemodells
- AP 2: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung und deren Spektren
 - 2.1: Neutronenquelltermberechnungen
 - 2.2: Berechnung der Verteilung
- AP 3: Neutronenfluenzmessungen 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 Gesamtanlagenmodells für MCNP

Im Berichtszeitraum wurde auf der Basis eines DWR-relevanten CAD-Modells (STP-Format) ein 3D Geometriemodell für das Programm MCNP als Grundmodell generiert, welches in Stufen auf ein vollständiges MCNP-Modell mit einzelnen Bauteilen und Strukturen (vom Kernmantel bis einschließlich Bioschild und von dem unteren Betonboden bis zum oberen Reaktorraum) weiterentwickelt wurde. Des Weiteren wurde das erstellte Geometriemodell durch den Einbau zonenspezifischer Materialzusammensetzungen der einzelnen Einbauten und Strukturen aus Projektunterlagen und Literatur zu einem vollständigen MCNP-Modell vervollständigt. Damit entstand ein detailliertes Gesamtanlagenmodell, dem Aufbau eines typischen DWR (Vor-Konvoi-Typ) entsprechend, für die geplanten MCNP-Berechnungen (Abb. 1). Außerdem wurde die Funktionalität des Modells an Beispielsimulationen erprobt. Das hochaufgelöste Gesamtanlagenmodell bildet die Grundlage für die eigentliche Neutronenflussberechnung, (Teilprojekt 1: AP2) als Grundlage für die Aktivitäts- und Strahlentransportberechnungen (Teilprojekt 2: Ap4 und AP5) mit dem Monte-Carlo-Programm MCNP.

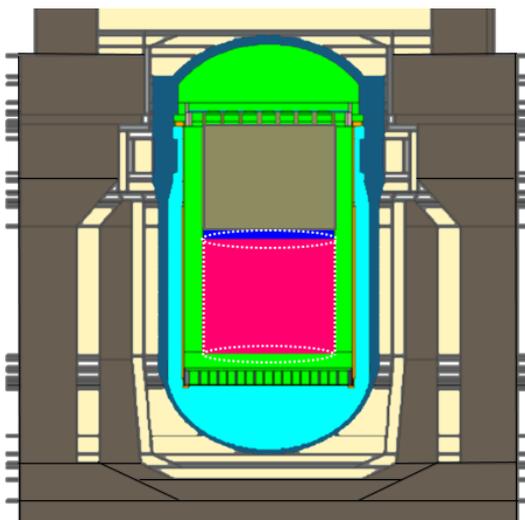


Abb. 1: Gesamtanlagenmodell für MCNP-Berechnungen(AP1)

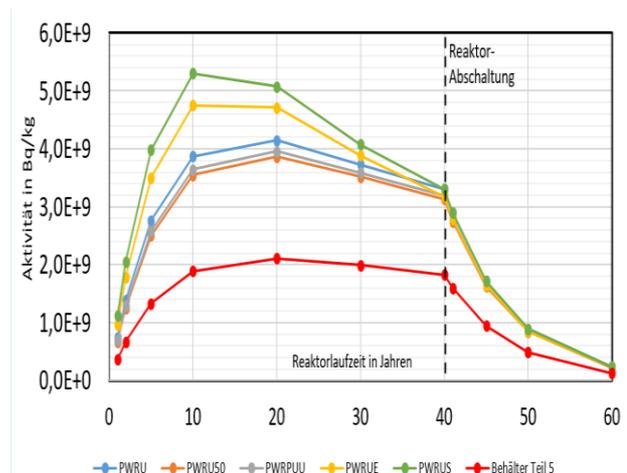


Abb.2: Effekt der nukl. Datenbibliothek auf die Aktivität (^{60}Co im RDB)

AP4.1: Programmroutine für Aktivierungswirkungsquerschnitte

Zur Durchführung 3-dimensionaler Aktivierungsberechnungen werden im Allgemeinen die in die Datenbibliothek des Programms ORIGEN integrierten Standard-Wirkungsquerschnitte (WQ) verwendet. Da diese Daten nicht den realen Spektralverhältnissen in den einzelnen Bauteilen und Strukturen (außerhalb des Reaktorkerns) entsprechen, wurde der damit verbundene Effekt auf die nuklidspezifische Aktivität am Beispiel des Reaktordruckbehälters (in der Höhe der Kernmittelebene) mit verschiedenen WQ-Bibliotheken simuliert (Abb.2). Mit dieser Simulation wurde der Einfluss des Neutronenspektrums und der daraus resultierenden Aktivierungsquerschnitte deutlich. Vor diesem Hintergrund wurde darüber hinaus im letzten Berichtszeitraum ein programmtechnisches Konzept für die Erstellung anlagenspezifischer Datenbibliothek (Wirkungsquerschnittsgenerator: WQ-GEN) entwickelt, deren Anwendung in der nächsten Projektphase erfolgen wird.

4. Geplante Weiterarbeit

AP-4.1: Erstellung Datenbibliothek (WQ-BIB)

Gemäß Vorhabenbeschreibung wird im Rahmen des AP4.1 die bereits konzipierte Programmroutine (WQ-GEN) auf die Komponenten bzw. Bauteile des Vor-Konvoi-Reaktors angewandt, wobei die bauteilspezifischen Spektren aus Neutronentransportrechnungen aus AP 2.1 (TP 1) und die nuklearen Grunddaten aus ENDF/B-VII zugrunde gelegt werden. Das Ergebnis ist die Entstehung einer anlagenspezifischen Aktivierungswirkungsquerschnitts-bibliothek, WQ-BIB-KONVOI, für die geplanten Aktivierungsberechnungen (AP-4.2). Falls die Spektren aus TP1 des Projektpartners noch nicht wie geplant zur Verfügung stehen sollten, wird das Verfahren am Beispiel der Spektren aus anderen vergleichbaren Modellrechnungen erprobt.

AP 4.2: Aktivitätsberechnungsroutine

Für die Simulation der Aktivitätsverteilung ist eine Kopplung der Neutronenflussverteilung aus MCNP-Berechnungen, Aktivierungswirkungsquerschnittsdaten (WQ-BIB) mit dem Programm ORIGEN notwendig. In der nächsten Projektphase wird an der Erprobung eines numerischen Verfahrens bzw. Programmmoduls gearbeitet, welches den Datenaustausch zwischen dem MCNP-Output (Flussverteilung aus TP1), Anlagenmodell mit zonenbezogenen Materialblöcken und dem Programm ORIGEN steuert. Als erste Phase der Aktivitätsberechnung wird mit Hilfe dieser Routine (AKT-TOOL) und unter Anwendung der vorliegenden 3D-Flusswerte die Verteilung der nuklidspezifischen Aktivität für einige Anlagenteile berechnet.

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: 01.05.2019 bis 30.06.2019		Förderkennzeichen: 15S9413A	
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: Verbundprojekt „Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen“. Teilprojekt A: Verfahrensentwicklung zur Dekontamination und Konditionierung der Prozessmedien einschließlich Gewinnung/ Her- stellung und Charakterisierung von betonproben Charakterisierung von Betonproben“			
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 30.04.2022		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 736.792,89 €	
Projektleiter/-in: Dipl.-Chem. H.–J. Friedrich		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hans-juergen.friedrich@ikts.fraunhofer.de	

1. Zielsetzung des Vorhabens

Da in Beton eindringende radioaktive Stoffe größtenteils an den sog. Zementstein gebunden werden, kann durch die Separierung des Zementsteins von den Betonzuschlagstoffen eine deutliche Mengenreduzierung endzulagernder radioaktiver Abfälle erwartet werden. Als Trennverfahren bietet sich die elektrohydraulische Zerkleinerung an. Es soll deshalb an mehreren relevanten Betonsorten untersucht werden, ob und mit welchen Arbeitsparametern mittels elektrohydraulischer Zerkleinerung eine hinreichende Dekontamination erreichbar ist und inwieweit die mineralischen Zuschlagstoffe freigebbar sind. Zur Verifizierung des Ansatzes sind zunächst Voruntersuchungen mit inaktivem Referenzmaterial und mit getracerten Prüfkörpern vorgesehen. Es schließen sich die Errichtung einer Laborversuchsanlage und die Durchführung von Trennversuchen mit realen kontaminierten Betonproben an. Bestandteil des Arbeitsprogramms sind Untersuchungen zur Dekontamination/Recycling des als Koppelmedium verwendeten Wassers und zur Konditionierung sekundärer Abfälle.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- AP1: Projektkoordination und Administratives
- AP2: Bereitstellung und Charakterisierung von Beton aus kerntechnischen Anlagen
- AP3: Untersuchungen zur Verifizierung der Kontaminationsverteilung in radioaktiv kontaminierten Betonproben
- AP4: Aufbau der Versuchsanlage zur Elektroimpulszerkleinerung, Durchführung von Versuchen zur Separation an synthetischen und realen Betonproben
- AP5: Untersuchungen zur Behandlung des Prozesswassers
- AP6: Experimentelle Untersuchungen zur Konditionierung der erhaltenen Stofffraktionen
- AP7: Stoffstrom-/Radionuklidbilanzierung, Verfahrensbewertung, Fortschreibung 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. Das kick-off-Meeting wurde vorbereitet.
- AP2: Mit der Gewinnung und Charakterisierung von Probenmaterial aus kerntechnischen Anlagen wurde begonnen. Referenzmaterial (freigemessen) aus dem KKW Stade liegt vor. Erstes Betonprobenmaterial aus ehemaligen kerntechnischen Anlagen am Standort Rossendorf wird in Kürze erwartet.
- AP3: Arbeiten hierzu waren im Berichtszeitraum nicht geplant.
- AP4: Das Arbeitspaket wird federführend durch den Verbundpartner ImpulsTec GmbH bearbeitet. Eigene Arbeiten hierzu waren im Berichtszeitraum nicht vorgesehen.
- AP5: Die Bearbeitung ist erst zu einem späteren Zeitpunkt vorgesehen.
- 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 Kick-off-Meeting wurde am 02.07.2019 durchgeführt (nachrichtlich), das nächste Verbundmeeting ist für Dezember 2019 geplant.
- AP2: Zunächst wird freigemessenes Probenmaterial aus Stade und Rossendorf eingehend hinsichtlich prozessrelevanter Materialparameter charakterisiert. Weiterhin werden Nuklidvektoren/Nuklidverteilung und Einsatzhistorie für radioaktiv kontaminierten Beton untersucht.
- AP3: Es wird ein Versuchsplan für die durchzuführenden Untersuchungen aufgestellt und die benötigten Ausrüstungen, Geräte und Radiotracer werden beschafft. Weiterhin ist eine Strahlenschutzanweisung für die Versuche zu erstellen und mit den Versuchen zu beginnen.
- AP4: Geplant sind Abstimmungen mit dem Verbundpartner zu den konkreten Bearbeitungsschritten und zu Aspekten des Strahlenschutzes.
- AP5: Die Untersuchungen beginnen erst im Folgejahr.
- AP6: Die Bearbeitung ist erst im 3. Jahr der Laufzeit vorgesehen.
- AP7: Erste Bearbeitungsschritte sind erst im Folgejahr geplant.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Derzeit werden keine direkten Bezüge zu anderen Vorhaben gesehen. Allgemein kann das Projekt der Gruppe von Vorhaben zugeordnet werden, die eine Reduzierung des Aufkommens endzulagernder radioaktiver Rückstände zum Ziel haben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

-keine-

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019		Förderkennzeichen: 15S9413B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: ImpulsTec GmbH, Wilhelm-Eichler-Straße 34, 01445 Radebeul		
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt „Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen“ Teilprojekt B: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung von radioaktiv kontaminierten Zementstein mittels elektrohydraulischer Fragmentierung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 30.04.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 56.592,78 €	
Projektleiter/-in: Stefan Eisert	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: stefan.eisert@impulstec.com	

1. Zielsetzung des Vorhabens

Da in Beton eindringende radioaktive Stoffe größtenteils an den sog. Zementstein gebunden werden, kann durch die Separierung des Zementsteins von den Betonzuschlagstoffen eine deutliche Mengenreduzierung endzulagernder radioaktiver Abfälle erwartet werden. Als Trennverfahren bietet sich die elektrohydraulische Zerkleinerung an. Es soll deshalb an mehreren relevanten Betonsorten untersucht werden, ob und mit welchen Arbeitsparametern mittels elektrohydraulischer Zerkleinerung eine hinreichende Dekontamination erreichbar ist und inwieweit die mineralischen Zuschlagstoffe freigebbar sind. Zur Verifizierung des Ansatzes sind zunächst Voruntersuchungen mit inaktivem Referenzmaterial und mit getracerten Prüfkörpern vorgesehen. Es schließen sich die Errichtung einer Laborversuchsanlage und die Durchführung von Trennversuchen mit realen kontaminierten Betonproben an. Bestandteil des Arbeitsprogramms sind Untersuchungen zur Dekontamination/Recycling des als Kopelmedium verwendeten Wassers und zur Konditionierung sekundärer Abfälle.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- AP1: Vorbereitende Arbeiten
- AP3: Aufbau der Versuchsanlage zur Elektroimpulszerkleinerung, Durchführung von Versuchen zur Separation an synthetischen und realen Betonproben
- AP6: Stoffstrom-/Radionuklidbilanzierung, Verfahrensbewertung, Fortschreibung 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: Der Start der Aktivitäten zu AP 1 erfolgte planmäßig. Das kick-off-Meeting wurde am 02.07.2019 gemeinsam mit dem Fraunhofer IKTS und weiteren Partnern durchgeführt.

AP3: Arbeiten hierzu waren im Berichtszeitraum nicht geplant.

AP6: Eine Bearbeitung war im Berichtszeitraum nicht vorgesehen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm- punkten)

AP1: Geplant sind Abstimmungen mit dem Verbundpartner zu den konkreten Bearbeitungsschritten und zu Aspekten des Strahlenschutzes für die Versuchsanlage.

AP3: Die Arbeiten werden planmäßig im nächsten Berichtszeitraum (gegen Ende des Jahres) gestartet.

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

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Derzeit werden keine direkten Bezüge zu anderen Vorhaben gesehen. Allgemein kann das Projekt der Gruppe von Vorhaben zugeordnet werden, die eine Reduzierung des Aufkommens endzulagernder radioaktiver Rückstände zum Ziel haben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

-keine-

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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 31.08.2019	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 wurde im Berichtszeitraum hauptsächlich AP-12 (Immobilisierung) behandelt sowie letzte Messungen zu AP-8 (Freigabemessungen) durchgeführt.

Im Rahmen von AP-12 wurden verschiedene Quecksilberverbindungen sowie inaktive Salze der im kontaminierten Quecksilber enthaltenen Radionuklide in eine Matrix aus Geopolymer sowie einem Spezialzement eingebaut und die so synthetisierten festen Probenkörper charakterisiert (Rasterelektronenmikroskopie, Röntgendiffraktometrie, BET- und Raman-Messungen). Untersucht wurden hierbei rotes und schwarzes Quecksilbersulfid, die aufgrund ihrer geringen Löslichkeit und hohen chemischen Stabilität als Entsorgungsform von Quecksilber als besonders geeignet gelten, sowie Quecksilbernitrat und Quecksilberoxid die als mögliche Nebenprodukte bei der Umwandlung von Quecksilber in Quecksilbersulfid vorliegen können.

In Auslaugexperimenten wurde anschließend untersucht, wie sich die synthetisierten Probenkörper unter Lösungszutritt verhalten. In diesen Auslaugexperimenten wurden verschiedene Bedingungen betrachtet, um einen Lösungsmittelzufluss unter Endlagerbedingungen zu simulieren und dabei die Löslichkeit insbesondere der Quecksilberverbindungen zu betrachten. So wurden für alle untersuchten Verbindungen Versuche bei verschiedenen Temperaturen und mit verschiedenen wässrigen Lösungen durchgeführt.

Am IEK-6 wurde in der ersten Jahreshälfte 2019 eine Masterarbeit angefertigt, die sich mit dieser Immobilisierung einiger Quecksilberverbindungen, insbesondere Quecksilbersulfid, sowie mit Auslaugexperimenten befasst.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Die Arbeiten am Projekt sind fast abgeschlossen. Im Rahmen von AP-12 (Immobilisierung) werden noch einige Messungen nachgeholt und die letzten Versuche ausgewertet. Abgesehen davon werden die Projektergebnisse für den Abschlussbericht zusammengefasst.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keiner.

6. Berichte und Veröffentlichungen

- L. Klaß, P. Ritz, N. Daniels, A. Wilden, M. Modolo, M. Hirsch, J. Kettler, A. Havenith, Decontamination and clearance concept for radioactively contaminated mercury waste from the decommissioning of nuclear facilities, Vortrag auf der KONTEC 2019, Dresden, 27.-29. März **2019**.
- L. Klaß, P. Ritz, M. Hirsch, A. Havenith, J. Kettler, A. Wilden, N. Daniels, G. Modolo, Measurement Concept for a Possible Clearance of Mercury Waste from Nuclear Facilities, Vortrag auf der Waste Management 2019 Conference, Phoenix, Arizona, 3.-7. März **2019**.
- 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: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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 31.08.2019	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 381.901 €
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. Der erste 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 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

Die Arbeitspakete AP-3, AP-4, AP-8 und AP-10 wurden von AiNT abgeschlossen und dokumentiert. Die experimentellen Arbeiten in AP-6 sind abgeschlossen und die Ergebnisse wurden 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, AP-11 und AP13 gearbeitet.

Die administrativen und technischen Anforderungen bei der Durchführung von Entscheidungsmessungen mit der gammaspektrometrischen Messanlage wurden im Berichtszeitraum in einem Freigabeablaufplan dokumentiert (AP-9). Der Freigabeablaufplan „Aktivitätsmessungen für die Freigabe von radioaktivem Quecksilber oder quecksilberhaltigen radioaktiven Reststoffen“ wurde im Berichtszeitraum weiter konkretisiert und begleitend wurde an der zugehörigen Verfahrensbeschreibung gearbeitet. Diese beschreibt alle Arbeits- und Prüfschritte, die der Entlassung von Reststoffkontingenten aus dem Regelungsbereich des Atomgesetzes dienen. Zudem definiert diese den Stichprobenumfang eines von der atomrechtlichen Aufsichtsbehörde im Freigabeverfahren hinzugezogenen Sachverständigen. 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. Für eine endlagergerechte Konditionierung müssen die quecksilberhaltigen Abfälle verfestigt werden, da die Endlagerungsbedingungen Konrad innerhalb der Grundanforderungen von Abfallprodukten festlegen, dass die Abfallprodukte in fester Form vorliegen müssen. 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. Hierbei wurden die Anforderungen der stofflichen Beschreibung und Deklaration wassergefährdender Stoffe im Endlagerungsverfahren berücksichtigt. Hieraus abgeleitet wurde 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 (AP11). Im Berichtszeitraum wurde begonnen ein Verpackungskonzept für die endlagergerechte Abfallprodukte zu erstellen (AP13). Das Verpackungskonzept schlägt die Verwendung endlagererzulässige Abfallbehälter und deren Beladung vor.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im zweiten Halbjahr 2019 werden die Arbeitspakete AP-9, AP-11 und AP-12 bearbeitet. Innerhalb von AP-12 wird das Verpackungskonzept der Dekontaminationsrückstände konkretisiert, wozu noch weitere Informationen über etwaige Abfallbehälter erhoben werden müssen. Das Verpackungskonzept wird bzgl. des Arbeitsablaufs im Ablaufplan zur Konditionierung (AP11) aufgenommen. Die Zielstellung dieses Ablaufplans ist es, die Dekontaminationsrückstände bzw. nicht freigegebener Reststoffe endlagergerecht zu konditionieren, um diese in die Schachanlage Konrad zu verbringen. Der im Projekt generierte Ablaufplan kann unter der Berücksichtigung von abfallspezifischen Anforderungen auch auf die Konditionierung anderer Sonderabfälle übertragen werden.

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, Dr. Andreas Havenith, Dr. 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: 01.01.2019 bis 30.06.2019	Förderkennzeichen: 15S9400
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Brenk Systemplanung GmbH, Heider-Hof-Weg 23, 52080 Aachen	
Vorhabenbezeichnung: Automatisierte, rechnergestützte Verpackungsplanung zur Reduzierung der Massen und Volumina der Abfallgebinde für das Endlager Konrad	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2017 bis 31.10.2020	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. Hierbei sind die Lösungsalgorithmen an die spezifischen Bedingungen der Abfallkampagnen anzupassen.

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, u.a. auch bzgl. Kosteneinsparpotentials verglichen. 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. Es liegen vollständige Datensätze inkl. Problembeschreibungen von weiteren 3 Projekten (öffentliche und kommerzielle Abfallverursacher) vor. Für zwei dieser Projekte wurden erste Modellierungsarbeiten und teilweise Rechendurchläufe durchgeführt. Die Ergebnisse wurden zum Wissenserhalt umfangreich dokumentiert. Die Projekte sind dabei so gewählt, dass sich die Komplexität der zu berücksichtigenden Randbedingungen schrittweise steigert und möglichst unterschiedliche Fallbeispiele betrachtet werden. Im Einzelnen wurden innerhalb dieses Berichtszeitraums folgende Arbeiten erledigt:

Projekt lfd. Nr.	Projekteigenschaften	Im I. HJ erledigte Arbeiten
1	Vergleich der Anzahl von benötigten Konrad-Containern, in die bereits konditionierte sowie während des Abbaus entstehende Fässer eingestellt werden. Bei der Simulation der Verpackung wurden die gleichen Randbedingungen berücksichtigt, wie bei der Planung des Abfallverursachers, allerdings waren hierunter keine Bedingungen wie maximal zulässige Ortsdosisleistung in einem Meter Abstand vom Konrad-Container.	(abgeschlossen)
2	Verpackung von kernbrennstoffhaltigen Pellets in Konrad-Container; hierbei müssen sowohl Transportvorschriften, Endlagerungsbedingungen als auch internationale Kernbrennstoffvorschriften eingehalten werden. Die Reihenfolge der einzustellenden Pellets unterliegt starken logistischen Begrenzungen. Gegenüber dem ersten Projekt wurden der Umfang und die Komplexität der zu betrachtenden Randbedingungen	Datenübernahme und Modellierung weitestgehend abgeschlossen; erste Rechendurchläufe durchgeführt; umfangreiche Abstimmung mit dem Abfallverursacher ist erfolgt. Qualitätssicherung und Anpassung der Modellierung an

	gesteigert. Das Kriterium der Ortsdosisleistung wird hierbei nicht berücksichtigt.	die final gelieferten Daten sind noch nicht erfolgt.
3	Umsortierungsplanung von Fässern in einem Lager für radioaktive Abfälle; hierbei müssen neben einzuhaltenden 111 Genehmigungsbedingungen nach der Umsortierung resultierende Dosisleistung an mehreren gegebenen Aufpunkten minimiert werden. Gegenüber den Projekten 1 und 2 soll hier nun auch die Ortsdosisleistung, die sich aus der Überlagerung der Strahlungsfelder verschiedener Abfallgebände ergibt, berücksichtigt.	Aufwendige Entwicklung der Einleseroutinen zur Übernahmen in der komplexen Datenstruktur in die Simulationssoftware war notwendig; erste Modellierungsansätze sind implementiert.
4	Abklinggestützte Verpackung von Abfallgebänden (Fässern) in Konrad-Container unter Berücksichtigung der Endlagerungsbedingungen und der Annahmebedingungen eines Zwischenlagers. Für dieses Projekt liegen keine Planungen des Abfallverursachers vor. Damit beinhaltet Projekt 4 auch die Zielsetzungen des AP 3.	Sichtung der Daten begonnen, technische Anpassung zur Datenübernahme in Vorbereitung.

AP 2 Für das erste Projekt wurde gegenüber der Verpackungsplanung des Anlagenbetreibers eine um einen Konradcontainer (Typ III) geringere Containeranzahl erreicht: statt 78 Konrad-Containern werden 76 oder 77 Konrad-Container benötigt (abhängig von der Interpretation der Randbedingungen; Kostenersparnisse ergeben sich bzgl. Containerkosten, Abfalldokumentation, Einlagerungskosten, aber hauptsächlich durch die Einsparung an Planungskosten).

AP 3 Gemäß angepasstem Arbeitsprogramm sind keine Arbeiten vorgesehen; allerdings behandelt Projekt 3 bereits Zielsetzungen des AP 3.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1 Die im 1. HJ/2019 fortgeführten Arbeiten zu den Projekten 2 und 3 werden fortgesetzt und voraussichtlich bis Anfang Oktober 2019 abgeschlossen. Die Arbeiten zum 4. Projekt werden voraussichtlich Ende 2019 abgeschlossen.

AP 2 Bereits während der Durchführung der Rechnungen und Optimierungen der Modellierungsansätze im AP 1 wird ein Vergleich zwischen Simulationsergebnissen und Referenzplanungen durchgeführt.

AP 3 Einzelne Zielsetzungen des AP 3 werden bereits durch die Bearbeitung des Projektes 3 des AP 1 verfolgt. Nach Abschluss des 4. Projekts wird unter Berücksichtigung der bisherigen Erfahrungen aus den Arbeiten zu AP 1 und AP 2 über die Durchführung weiterer Projekte im Sinne des AP 3 entschieden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es besteht kein Bezug zu weiteren Fördervorhaben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine.

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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, 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 Durchführung der Literaturrecherche zu Eigenschaften von bestrahltem und unbestrahltem Be wurde abgeschlossen. Dabei wurden Daten zu typischen Verunreinigungen in Be ausgewertet, die zur Bildung der Aktivierungsprodukte (AP) in bestrahltem Be führen. Information zu Speziation dieser AP in Be liegen demnach bislang nicht vor. Die verfügbaren thermodynamischen Daten von Be-Verbindungen weisen auf eine deutliche Löslichkeit von BeO und Be(OH)₂ im alkalischen (sowie stark sauren) Milieu hin, und soll daher in Zusammenhang mit der Grundwasserzusammensetzung (pH, [CO₃²⁻], [Fe(III)], etc.) näher betrachtet werden.

AP 4: Die Literaturrecherche und Diskussion über Verwertungsoptionen von dekontaminiertem Be wurde mit Unterstützung der Fa. Brenk Systemplanung als Unterauftragnehmer abgeschlossen und liegt in Berichtsform vor.

AP 5: Die Literaturrecherche und Analyse zu möglichen Dekontaminationsverfahren von bestrahltem Be wurde weitergeführt. Die prinzipiell verfügbaren Methoden wie (1) Hochtemperaturbehandlung, (2) nasschemische Trennung (als favorisiertes Verfahren) und (3) kombinierte Methoden, weisen alle einen niedrigen TRL auf; eine Abtrennung von Be-10 wird generell als nicht machbar angesehen.

AP 6: Konditionierungsmethoden für bestrahltes Be oder radioaktive Rückstände nach Dekontamination, wie die Einbindung in Zement, Bitumen, Glas, oder Phosphate wurden im Vergleich zur direkten Entsorgung (ohne Konditionierung) analysiert. In der Literatur wurde dabei eine Verglasung favorisiert.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 2: Zusammenfassung des kritischen Review „Kenntnisstand zu bestrahltem Be“.

AP 4: Diskussion der methodischen Aspekte einer Freigabe von dekontaminiertem Be im Hinblick auf identifizierte Verwertungs- und Freigabeoptionen.

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

AP 6: Diskussion der Anwendbarkeit von Konditionierungsmethoden im Hinblick auf Endlagerbedingungen des Endlagers Konrad.

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 KONTEC 2019 mit dem Titel „KONEKT: a concept study on the safe management of irradiated beryllium from research reactors“ (Autoren: Daniels, N., Wolf, C., Deissmann, G., Modolo, G., Kate, S., Welzel, S., Bosbach, D.).

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019		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: Konditionierung, Randbedingungen zu Endlagerung von Bestrahltem Beryllium und Kostenschätzung			
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 bestrahlten 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 weiterführende 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)

Seit dem 01.01.2019 wurde das Arbeitspaket 1 vervollständigt und korrekturgelesen. Es wurde eine Bestandsaufnahme des in Europa und in der Welt vorkommenden bestrahlten Berylliums durchgeführt. 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. 7 Mg bestrahltes Beryllium vor. Insgesamt wird die Nuklearberyllium-Menge in Europa deutlich größer sein, da von nur 1/3 der europäischen Forschungsreaktoren bisher die Informationen vorliegen. Für Reaktoren außerhalb Europas liegen bisher lediglich aus Kanada und Brasilien schriftliche Rückmeldungen vor, wobei ein Teil des Berylliums in Kanada bereits an die Endlagerbetreiber abgegeben wurde. Aus einigen Forschungsreaktoren in den USA, China und Japan wurden Daten bezüglich Masseninventar an bestrahltem Beryllium in Veröffentlichungen gefunden. Das geschätzte weltweite Masseninventar an bestrahltem Beryllium liegt somit bei rund 80 Mg.

Von Mitte März bis Ende Juli 2019 wurde das Arbeitspaket 2 bearbeitet.

Im Arbeitspaket 2 wurden die chemischen und physikalischen Eigenschaften, sowie die Problematik von bestrahltem Beryllium ausführlich dargelegt. Insbesondere wurde auf Korrosionsgefahr, hohes Tritium-Inventar (4 E15 Bq im BER-II) und zahlreiche Verunreinigungen, die unerwünschte Aktivierungsprodukte produzieren, eingegangen.

Fünf unterschiedliche Konditionierungsverfahren wurden in Betracht gezogen und auf Umsetzbarkeit hinsichtlich der Endlagerung von bestrahltem Beryllium analysiert. Es wurden das Ausheizen von Tritium, die Zementierung, die Bituminierung, die Verglasung und die Phosphatierung verglichen und der direkten Endlagerung gegenübergestellt.

In Deutschland wurden bisher nur Proben am bestrahlten Beryllium genommen und analysiert, dies erfolgte am HZB und an der TUM. Weitere Konditionierungsschritte sind an deutschem Nuklearberyllium bisher nicht erfolgt.

In mehreren internationalen Einrichtungen wurden Ausheizarbeiten von Helium und Tritium an bestrahltem Beryllium vorgenommen. Um Beryllium langanhaltend vor Korrosion zu schützen und somit die Lebensdauer des Metalls zu verlängern, wurden Beschichtungsversuche durchgeführt. In Kasachstan und Belgien wurden in Bezug auf die Konditionierung von bestrahltem Beryllium aus Forschungsreaktoren Arbeiten ausgeführt, die in Arbeitspaket 2 erläutert wurden.

Zudem wurden Wissenslücken identifiziert, die zukünftige Forschungsprojekte legitimieren und die bei der Entscheidung über das weitere Vorgehen mit bestrahltem Beryllium beachtet werden müssen.

Neben den Konditionierungsmöglichkeiten wurde im Rahmen von Arbeitspaket 2 auch die Chemotoxizität und Strahlenschädlichkeit von Beryllium untersucht.

Im Zeitraum vom 01.01.2019 bis zum 30.06.2019 wurden die Arbeitspakete 3 und 5 angefangen. Da AP3 konnte dabei bis auf kleinere Arbeiten abgeschlossen werden. Eine Kostenschätzung bezüglich der Konditionierung von bestrahltem Beryllium für AP 5 wurde begonnen und soll einer zukünftigen Kostenschätzung in Bezug auf die Wiederaufbereitung von bestrahltem Beryllium gegenüber gestellt werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Arbeitspakete 3, 5 und 7 müssen noch vervollständigt werden. Die weiterführenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Entsorgung von bestrahltem Beryllium wurden zum größten Teil schon unter dem Kapitel Wissenslücken des AP2 aufgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Kein Bezug zu anderen Vorhaben

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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 €
Projektleiter/-in: Dr. Laurent Coquard	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: laurent.coquard@framatome.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

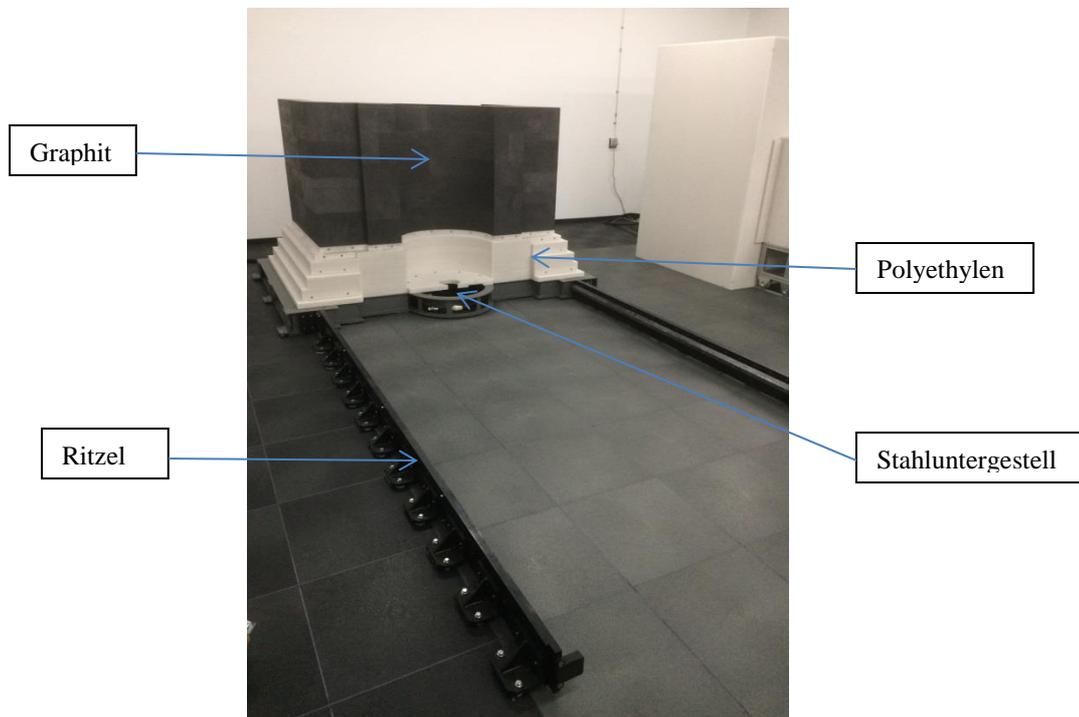
Die Kooperationspartner Framatome GmbH (Framatome), die Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) und das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen (FINT) haben sich zum Ziel gesetzt, die Prompt-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse (PGNAA) zur Charakterisierung radioaktiver 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 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 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 (mit Referenz zu Arbeitsprogramm- punkten)

Im Berichtszeitraum wurde seitens Framatome hauptsächlich in den Arbeitspaketen AP1, AP5 und AP9 gearbeitet. Bei der Weiterentwicklung des konstruktiven Designs (AP1) der stationären Messanlage QUANTOM, wurden folgende Komponente fertig modelliert, gezeichnet und bestellt: Graphit (Moderation), Polyethylen (Abschirmung), Stahluntergestelle, Stahlkäfig, Gammaabschirmung, Ritzel, Kollimatoren, Hubzylinder, PTFE Komponente (Trichter, $^6\text{Li-C}$ Platten, Neutronen Generator Einschub). Die PTFE Innenwände incl. Ausfräsungen für die von FINT selektierten Neutronendetektoren wurden modelliert und bestellt. Im Bereich Automatisierungstechnik wurde der Schaltschrank vollständig in Erlangen zusammengesetzt, verdrahtet und getestet. Die entsprechende GUI der Anlagesteuerung wurde entwickelt und mittels der angelieferten Motoren (Zange, Lineareinheit) und Komponente wie den Teleskopzylinder getestet. Der Aufbau (AP9) konnte dank der erstellten Aufbauanleitung im Technikum der AINT GmbH im Juni gestartet werden. Das untere Bild zeigt den Stand der Anlage Ende Juni 2019.



Erste Systemkomponenten (HPGe-Detektoren, Neutronen Detektoren) wurden geliefert und in Betrieb gesetzt. Zusätzlich wurde ein Entwurf einer Datenbank zur Verwaltung der eigenen Auswertungsergebnisse erstellt. Die Fässer zur Validierung der Messanlage wurden bestellt sowie einige Referenzmaterialien. Ein Konzept eines partitionierten Fasses wurde für die Validierung aufgesetzt (AP10).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm- punkten)

Im zweiten Halbjahr 2019 wird das Arbeitspaket AP1 fortgeführt und für die stationäre Messanlage abgeschlossen. Die Komponente des Drehtopf-Ensembles (Aluminium Topf, Zirconium Teller, PTFE Aufsätze) werden abschließend modelliert, gezeichnet und bestellt. Das Konzept

zur Handhabung von Fässern im Technikum wird konsolidiert und die dazugehörige Komponente spezifiziert und bestellt.

Die Anlagensteuerung (AP5) wird seitens Framatome (mechanische Komponente) gefertigt und zu der Steuerung der messtechnischen Komponente von AINT/FINT gekoppelt. Der Neutronengenerator wird im Technikum aufgebaut und getestet. Nachfolgend werden mit dem Neutronengenerator, Aktivierungsanalysen mit Kalibrierfolien zur Neutronenflussmessung bzw. Kalibrierung durchgeführt. Daraus abgeleitet kann die Neutronenemissionsrate des Neutronengenerators in Abhängigkeit der Betriebsparameter bestimmt werden. Der Aufbau der stationären Messanlage wird weiter fortgeführt. Die Referenzfässer werden erstellt und die entsprechende Laboranalysen durchgeführt. Falls die Messanlage Ende des Jahres 2019 betriebsbereit ist, werden die ersten Testmessungen im Technikum mit Referenzfässern durchgeführt. Das Design der mobilen Messanlage wird weiterentwickelt (Container, Fassförderung, Abschirmung).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

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

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: 01.01.2019 bis 30.06.2019	Förderkennzeichen: 15S9406B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM), Teilprojek: Methoden- und Softwareentwicklung	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.09.2018 bis 31.08.2021	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 621.605 €
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 Ab-lieferungspflichtige anwendbar zu machen. Die Zielstellung des Projektes ist dem Forschungs-feld „Zerstörungsfreie Deklaration bzw. Analyse von (Alt-)Abfällen“ zuzuordnen. Innerhalb des Projektes wird die Messanlage QUANTOM® für die zerstörungsfreie Überprüfung der stoffli-chen Beschreibung aufgebaut und erprobt. QUANTOM® wird zunächst im Strahlenschutzbau-werk von AiNT aufgebaut und getestet. Hiernach wird die Messanlage in einem Stahlblech-container 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 Beschreibungen von Abfallprodukten verifiziert und einfach ergänzt werden, wodurch die Nachqualifizierung von Altabfällen erleichtert wird und die Kosten für die nukleare Entsorgung reduziert werden. An-hand der Möglichkeit Abfallfässer mittels QUANTOM® zerstörungsfrei und ohne Neuverpa-ckung 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 Entwick-lung 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 AP12 sowie AP14 gearbeitet. Die konstruktive Entwicklung des 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 gemeinsamen in Dateien des Programms Autodesk Inventor gearbeitet. Die nuklearphysikalischen Simulationen wurden seitens AiNT mit MCNP durchgeführt. Ergebnisse der nuklearphysikalischen Simulationsrechnungen sind z. B. die Abschirmdicken für die Neutronen- und Gammaabschirmung und wurden im konstruktiven Anlagenmodell umgesetzt. Für die Inbetriebnahme der stationären Messanlage im Strahlenschutzbauwerk von AiNT ist eine Genehmigung gemäß § 12 StrlSchG (AP4) erforderlich. Innerhalb des Berichtszeitraums wurden die umfangreichen Antragsunterlagen bestehend aus Strahlenschutzkonzept (AP2), Sicherheitsbericht sowie weitere begleitende Unterlagen fertiggestellt und Ende Januar 2019 eingereicht (AP4). Die Antragsunterlagen wurden durch einen Sachverständigen geprüft, welcher am 21. März anhand seines Prüfberichts die Plausibilität der Berechnungen des baulichen Strahlenschutzes und der Abschirmung sowie der übrigen sicherheitstechnischen Vorkehrungen bestätigte. Die Bezirksregierung Köln stellte den Genehmigungsbescheid zum Betrieb der QUANTOM[®]-Messanlage am 17.06.2019 aus, womit der wichtige Meilenstein M8 erfolgreich erreicht wurde.

Für die Auswertung der gammaspektrometrischen Daten und die Berechnung des energie- und ortsabhängigen Neutronenflusses im Abfallfass wurden verschiedene mathematische Methoden bewertet (AP6/7) und die Ergebnisse in einem Konzept dokumentiert (M10, M14). Die Neutronentransportmodellierung erfolgt mittels einer SP3-Diffusionsapproximation und eines Finite-Elemente-Programms (FEniCS) zur Lösung der partiellen Differentialgleichungen. Der Solver für das Differentialgleichungssystem wurde implementiert und anhand mathematischer Testfälle verifiziert. Die Gleichungen konnten mittels eines Gauss-Seidel-Verfahrens entkoppelt werden, was eine Reduktion der Rechenzeit zur Folge hatte. Weiterhin wurden die nuklearphysikalischen Daten (Wirkungsquerschnitte) eingebunden und ein Konzept zur Behandlung der (zunächst) unbekanntenen Materialzusammensetzung der Fassmatrix für die Auswertung entwickelt. Die Verbundpartner haben die Schnittstellen für die Datenverarbeitung abgestimmt und die auszutauschenden Daten spezifiziert. Die Datenspeicherung geschieht in einer relationalen Datenbank, welche seitens Framatome programmiert wird. Innerhalb der Softwareentwicklung (AP5), lag der Schwerpunkt der Entwicklungstätigkeiten seitens AiNT beim Softwaremodul zur Berechnung von Photopeak-Effizienzen sowie bei der Betriebssoftware zur Anlagensteuerung. Ebenfalls wurden gute Ergebnisse bei der automatisierten Messdatenauswertung erzielt.

Im Juni 2019 begann der Aufbau der Messanlage im Strahlenschutzbauwerk von AiNT (AP9). Das Stahluntergestell wurde montiert und die ersten Lagen Graphit wurden positioniert. Es

wurde ein Konzept für die experimentelle Validierung mit verschiedenen Matrizes (AP10) erstellt. Hierzu wurden die zu erwerbenden Referenzmaterialien bzgl. ihrer Materialeigenschaften und der Neutronik spezifiziert. Des Weiteren wurde mit dem Verbundpartner FINT bei der Umsetzung der Online-Neutronenflussmessung (AP12) sowie der nachfolgenden Kalibrierung der Detektoren zusammengearbeitet.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im zweiten Halbjahr 2019 werden die Arbeitspakete AP1 bis AP12 sowie AP14 weiterbearbeitet. Seitens AiNT wird im Juli/August 2019 der Meilenstein M2 „Detailengineering für stationäre Messanlage“ beendet, womit AP1 abgeschlossen wird. Die Arbeiten zum „Aufbau & Inbetriebnahme der stationären Messanlage“ (AP9) sowie der Factory Acceptance Test (FAT) und der Testbetrieb des Neutronengenerators werden im Fokus des zweiten Halbjahres 2019 stehen. Im Juli wird der bei der Firma Adelphi durchgeführte FAT zum Neutronengenerator ausgewertet. Insbesondere die Stabilität der Neutronenemissionsrate wird hierbei evaluiert. Nachfolgend werden mit dem unverbauten Neutronengenerator Aktivierungsanalysen zur Neutronenflussmessung durchgeführt. Hieraus abgeleitet kann die Neutronenemissionsrate des Neutronengenerators in Abhängigkeit der Betriebsparameter bestimmt werden. Seitens AiNT wird weiter am Konzept zur stofflichen Plausibilitätsprüfung mit QUANTOM® gearbeitet.

Die Referenzmaterialien für die experimentelle Validierung mit verschiedenen Matrizes werden bestellt und bei AiNT ankommen. Von den Referenzmaterialien werden Proben genommen, die zu Vergleichsmessungen geschickt werden (AP10).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

In der nachfolgenden Auflistung werden die wissenschaftlichen Veröffentlichungen und sonstige projektbezogene Öffentlichkeitsarbeiten im Berichtszeitraum aufgeführt. In Summe wurden im Projekt bereits fünf Veröffentlichungen auf Konferenzen vorgestellt.

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: **QUANTOM® - Non-destructive characterization of radioactive waste packages for material characterization**, ANIMMA 2019, Portorož (Slovenien), 17th – 21st June 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, Dr. Laurent Coquard et al.: **Stoffliche Beschreibung und Plausibilitätsprüfung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM®**, KONTEC 2019, Dresden, 27. - 29. März 2019.

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

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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 den Verbundpartnern AiNT und Framatome vorgestellte Entwicklung und Umsetzung des konstruktiven Designs von QUANTOM konstruktiv begleitet und insbesondere die Integration der Neutronendetektoren für die online-Neutronenflussmessung (AP12) abgestimmt. Die auf Vorschlag von FINT ausgewählten He-3 Neutronendetektoren sowie die Komponenten der Nachfolgeelektronik wurden über Framatome bestellt und bei FINT in Betrieb genommen. Für die Neutronendetektoren wurde in Abstimmung mit dem Verbundpartner AiNT ein Konzept zur Kalibrierung erarbeitet, das auf einer absoluten Kalibrierung des Neutronenflusses in der Anordnung mit Hilfe von Aktivierungsfolien und einer relativen Kalibrierung der Neutronendetektoren untereinander mit Hilfe von Referenzmessungen unter Verwendung einer moderierten Am/Be-Neutronenquelle beruht. Weiterhin haben die Verbundpartner die Schnittstellen für die Datenverarbeitung abgestimmt und die auszutauschenden Daten spezifiziert. Auf dieser Grundlage wurde die Softwarekomponente zur Steuerung der online-Neutronenflussmessung erstellt und getestet. Ein erster Interoperabilitätstest mit einer Software von AiNT, welcher insbesondere die korrekte Funktion der Softwareschnittstelle prüft, konnte erfolgreich durchgeführt werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm- punkten)

Im zweiten Halbjahr 2019 werden die Arbeitspakete AP1 und AP12 weiterbearbeitet. In AP1 wird der stationäre Aufbau von QUANTOM im Strahlenschutzbauwerk von AiNT mitverfolgt. Die Kabel für die Neutronendetektoren werden bei FINT konfiguriert (AP12). Die relative Kalibrierung der Neutronendetektoren untereinander wird mit Hilfe des dafür vorgesehenen Moderatorblocks für die Am/Be-Neutronenquelle bei FINT durchgeführt. Die absolute Kalibrierung der Neutronendetektoren mittels Aktivierungsfolien wird gemeinsam mit AiNT am stationären Aufbau von QUANTOM bei AiNT durchgeführt, sobald der Aufbau der Anlage hinreichend fortgeschritten und der Neutronengenerator betriebsbereit ist. Die Komponenten der online-Neutronenflussmessung werden anschließend in den stationären Aufbau von QUANTOM integriert. Dann wird auch die Neutronenflussmessung außerhalb der stationären Anlage mit dem Neutronenspektrometer ROSPEC durchgeführt (AP8).

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 Öffentlichkeitsarbeiten im Berichtszeitraum aufgeführt.

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

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: QUANTOM® - Non-destructive characterization of radioactive waste packages for material characterization, ANIMMA 2019, Portorož (Slovenien), 17th – 21st June 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, Dr. Laurent Coquard et al.: Stoffliche Beschreibung und Plausibilitätsprüfung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM®, KONTEC 2019, Dresden, 27. - 29. März 2019.

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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
- AP6: 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. Das zweite Verbundtreffen wurde vorbereitet.
- AP2: Die Arbeiten zu AP 2 werden überwiegend durch VKTA Rossendorf als Nachauftragnehmer ausgeführt. Aufgrund neuer komplexerer Beschaffungsregularien konnte eine erste freigemessene Charge Reaktorgraphit für die Erprobung der zu entwickelnden/zu untersuchenden methodischen Ansätze erst zu Jahresbeginn bezogen werden.
- AP3: Der Schwerpunkt der Bearbeitung lag bei Untersuchungen zur Aufbereitung von Graphit für Untersuchungen zu thermischen Desorption und bei solchen zu elektrochemischen Dekontamination. Konventionelles Mahlen mittels Kugelmühle führte zu einer noch nicht befriedigenden Korngrößenverteilung. Deutliche bessere Ergebnisse lieferte Bohrklein bzgl. Korngrößenverteilung. Elektrochemische Untersuchungen an Graphit aus dem RFR und an Vergleichsproben aus technischem Graphit zeigten je nach Reaktionsbedingungen teilweise unterschiedliches Verhalten. Gemeinsam ist beiden Materialien eine rasche partielle Oxidation und Desintegration unter Bildung von (mutmaßlich) Säure-Interkalaten und/oder Graphenvorstufen bei anodischer Belastung in halbkonzentrierten Mineralsäuren. Die TOC-Werte indizieren, dass dabei auch in wässrigen Elektrolytlösungen lösliche Kohlenstoffverbindungen entstehen.
- AP4: Das Arbeitspaket wird durch den Verbundpartner TU-Bergakademie Freiberg, Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, bearbeitet.
- AP5: Die Auslegung der Versuchsanlage zur Trennung der Kohlenstoffisotope mittels Membrandiffusion wurde abgeschlossen und mit der Fertigung begonnen. Es wurden weitere Modellrechnungen zum Stofftransport in mikro- und nanoporösen Membranen durchgeführt, um das Anlagenkonzept zu verfeinern. Die Durchführung von Untersuchungen zur Trennung durch Thermodiffusion wurde vorbereitet (NAN-Leistung).
- 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 war für den 02.07.2019 geplant und wurde planmäßig durchgeführt. Für Dezember 2019 ist ein weiteres Verbundmeeting geplant.
- AP2: Der Bezug und die Charakterisierung von aktivierten/kontaminierten Reaktorgraphit für die Fortsetzung der Untersuchungen zu AP3 sind zum Jahresende 2019 geplant.
- AP3: Der Aufmahlprozess zur Herstellung von Proben mit vergleichbarer Korngrößenverteilung für die thermischen Desorptionsuntersuchungen soll weiter verbessert werden. Nachfolgend werden die Untersuchungen zur thermischen Desorption aufgenommen. Die Untersuchungen zur elektrochemischen Behandlung von Reaktorgraphit werden mit den Schwerpunkten stoffliche- und Aktivitätsbilanzierung und Charakterisierung der Reaktionsprodukte ebenfalls fortgesetzt.
- AP4: Geplant sind Abstimmungen mit dem Verbundpartner zu den konkreten Bearbeitungsschritten.

- AP5: Die Untersuchungen zur Isotopentrennung mittels Membrandiffusion sollen im 2. Halbjahr begonnen werden. 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 Berichtzeitraums 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: 01.01.2019 bis 30.06.2019		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 AP 310 (Thermochemische Charakterisierung des Reaktorgraphits / Methodenüberprüfung) und AP 320 (Untersuchung des Konversionsverhaltens). Im Einzelnen wurden folgende Arbeiten durchgeführt.

AP 310:

- Der bereitgestellte Reaktorgraphit wurde für die nachfolgenden Untersuchungen aufbereitet, wobei sich nach einer manuellen Vorzerkleinerung der Einsatz einer Schwingmühle bzw. einer Ultrazentrifugalmühle als geeignet erwiesen hat.
- An unzerkleinertem Material wurden Oberflächenuntersuchungen (REM, Lichtmikroskopie) durchgeführt. Es konnten Risse und Einschlüsse nachgewiesen werden. Zwei beobachtete Oberflächenbelege wurden als Aluminiumoxid und als Magnesiumkarbonat identifiziert.
- Die Graphitcharakterisierung umfasste chemische und physikalische Eigenschaften. Die Immediatanalyse ergab einen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen von 0,5 Ma.-%, der Heteroatomgehalt beträgt 1,8 Ma.-% (überwiegend Sauerstoff und Wasserstoff). Unter Verwendung der elektrothermischen Verdampfung (ETV) wurde eine Spurstoffanalyse durchgeführt, wobei der Gesamtanteil < 500 ppmw beträgt. Anhand der Roh- und Reindichte wurde eine Porosität von 17 % ermittelt. Die BET-Oberfläche beträgt 13 m²/g (N₂, 77 K, 3-Punkt).

AP 320:

- Anhand von thermodynamischen Vorbetrachtungen wurde die theoretische Umsetzbarkeit von Reaktorgraphit mit Wasserstoff zu Methan unter Variation des H/C-Verhältnisses und des Reaktordruckes untersucht. Daraus ergab sich der Zielkonflikt einerseits hoher Kohlenstoffumsatz und andererseits hohe Methankonzentration im Produktgas.
- Die Kalibrierung des Hochtemperatur-TG/DSC-Systems wurde abgeschlossen und die kinetischen Untersuchungen unter Variation von Reaktionsatmosphäre und Temperatur begonnen.
- Für die Ermittlung der Onset-Temperatur der Graphitkonversion wurde die Graphitprobe im TG/DSC-System unter Reaktionsatmosphäre aufgeheizt (s. Abb. 1). Für die Reaktion mit synthetischer Luft wurde eine Onset-Temperatur von 700 °C ermittelt, mit CO₂ von 1100 °C. Mit Wasserstoff konnte unter den angewendeten Versuchsbedingungen keine Umsetzung beobachtet werden.
- Die Ermittlung der kinetischen Parameter entsprechend Arrhenius-Ansatz erfolgte isotherm bei Temperaturen von 700 – 950 °C in synthetischer Luft und von 1025 – 1350 °C in CO₂. Es zeigten sich die typischen Kurvenverläufe im Arrhenius-Diagramm, wobei die ermittelten Aktivierungsenergien jeweils in der gleichen Größenordnung liegen, wie in der Literatur angegeben. Ein unmittelbarer Vergleich ist schwierig, da teilweise andere Temperaturbereiche betrachtet werden und die Beschreibung von Untersuchungsmethode und Auswerteprozedur nicht immer eindeutig nachvollziehbar ist.
- Zur Überprüfung der Untersuchungsergebnisse wurden Versuche in einer zwangsdurchströmten Probenschüttung im Temperaturbereich von 1050 – 1100 °C mit CO₂ durchgeführt. Die ermittelte Aktivierungsenergie zeigte im Gegensatz zu den TG-Untersuchungen eine deutliche Abhängigkeit vom C-Umsatz.

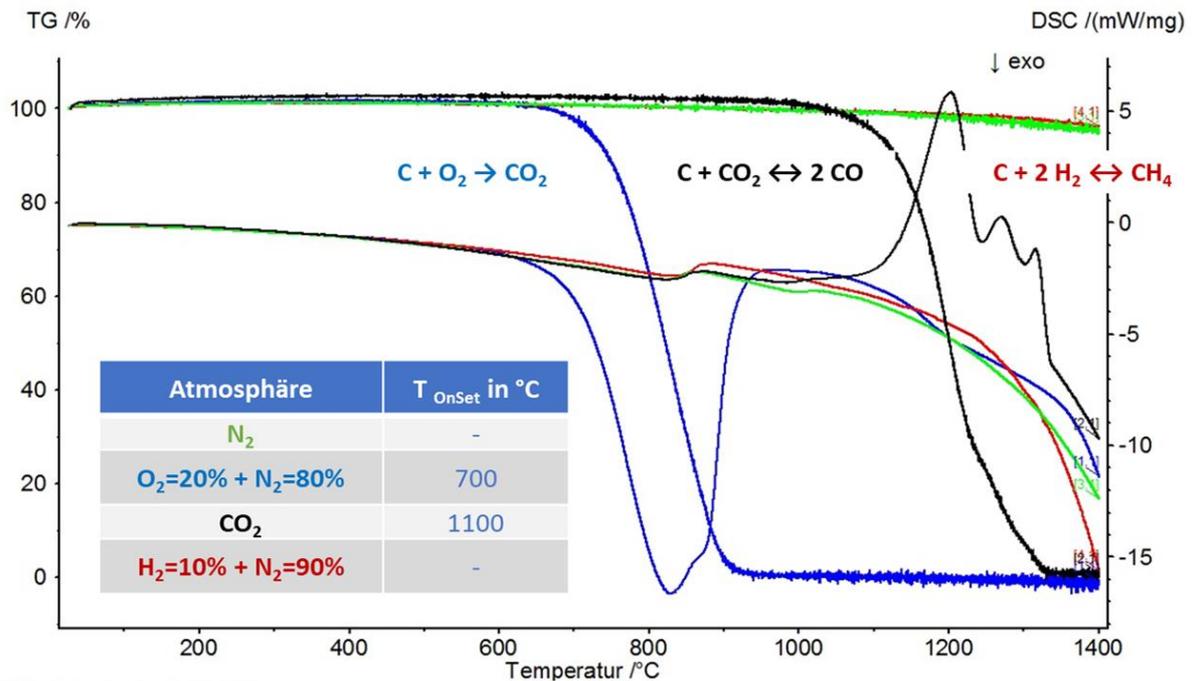


Abb. 1. Umsetzung von Reaktorgraphit in verschiedenen Atmosphären unter Aufheizbedingungen (5 K/min)

- Um die strukturelle Beeinflussung des Kohlenumsatzes zu beschreiben, wurden drei Partikelmodelle angewendet: Volumetric-Model (VM), Grain-Model (GM) und Random-Pore-Model (RPM). Die Beschreibung des experimentell ermittelten Kohlenstoffumsatzes sowohl im TG/DSC-System als auch in der zwangsdurchströmten Schüttung ist mit den ausgewählten Partikelmodellen nur sehr eingeschränkt möglich. Die besten Ergebnisse werden für die zwangsdurchströmte Schüttung mit RPM und für das TG/DSC-System mit VM erreicht.

4. Geplante Weiterarbeit

Die geplanten Weiterarbeiten betreffen die Weiterführung des AP 320 (Untersuchung des Konversionsverhaltens). Die nächsten Schritte umfassen:

- weiterführende kinetische Untersuchungen zum Einfluss des Reaktionsmittels (H₂: 20 bis 30 Vol.-% in N₂ im TG/DSC-System sowie H₂O und Mischatmosphäre) im DMT/TGA-System) sowie des Partialdruckeinflusses,
- Untersuchung der Porenstruktur von teilvergastem Graphit zur Überprüfung der Porenstrukturentwicklung und damit der Eignung von Partikelmodellen,
- Test weiterer Partikelmodelle sowie
- Erstellung reaktionskinetischer Modelle.

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: 01.03.2019 bis 30.06.2019	Förderkennzeichen: 15S9410A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH	
Vorhabenbezeichnung: Charakterisierung und Quantifizierung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie Teilprojekt: Optimierung der Entscheidungsmessung und Freigabemengen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2019 bis 28.02.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 187.025,17 €
Projektleiter/-in: Matthias Dewald	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: matthias.dewald@grs.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung eines automatisierbaren Systems zur zuverlässigen Charakterisierung und Quantifizierung des C-14-Gehalts von Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie (Accelerator Mass Spectrometry, AMS), das im industriellen Bereich eingesetzt werden kann und Schwierigkeiten z.B. im Bereich der Untergrundunterdrückung oder aufwändiger Probenaufbereitung bei bisher genutzten Verfahren wie Liquid Scintillation Counting (LSC) umgeht und gleichzeitig in der Lage ist, das Unterschreiten der künftig geltenden Freigabewerte zuverlässig zu belegen. Ferner sollen Schnittstellen eines solchen AMS-Systems für die Messung weiterer Radionuklide definiert werden, um künftig die simultane Messung von C-14, Cl-36 und H-3 aus einer einzelnen Probe zu ermöglichen.

Das Verbundvorhaben gliedert sich in die Teilprojekte „Entwicklung eines Systems zur routinemäßigen Bestimmung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie“ (Universität zu Köln) und „Optimierung der Entscheidungsmessung und Freigabemengen (GRS gGmbH). Ziel des hier beantragten Teilvorhabens ist, auf Basis der Ergebnisse der Reaktorgraphit-Charakterisierung mittels AMS und unter Berücksichtigung der mit der neuen Strahlenschutzgesetzgebung einhergehenden Freigabekriterien Empfehlungen für eine konkrete Freigabeprozedur zu definieren. Darüber hinaus soll bewertet werden, ob eine Charakterisierung von Reaktorgraphit mittels AMS als Stand von Wissenschaft und Technik angesehen werden kann, und welche Bedeutung die gewonnenen Erkenntnisse im Hinblick auf die Entsorgung vorhandener Reaktorgraphit-Bestände in Deutschland hat.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Eine ausführliche Beschreibung des Arbeitsplans findet sich in der Vorhabensbeschreibung. Die Arbeiten werden sind in folgende Arbeitspakete gegliedert:

- AP 1 Voruntersuchungen an unbestrahlten Graphitproben
- AP 2 Voruntersuchungen an bestrahlten Reaktorgraphitproben
- AP 3 Herstellung von Referenz-Probenmaterial für die AMS-Messungen
- AP 4 Entwicklung des Gassystems mit Elemental Analyzer und Verbindung zur AMS-Anlage
- AP 5 Test des Gassystems zur Verdünnung über die Charakterisierung der bestrahlten Referenz-Graphitproben

- AP 6 Betrachtung und Bewertung von möglichen Entsorgungspfaden vor dem Hintergrund der Ergebnisse
- AP 7 Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen
- AP 8 Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf mögliche Freigabepfade und die Charakterisierung radioaktiver Abfälle
- AP 9 Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse
- AP 10 Verbundkoordination und Projektmanagement

Im folgenden Balkenterminplan sind die Einzelnen Arbeitspakete in ihrer zeitlichen Abfolge und Zuordnung dargestellt. Gegenüber der vorläufigen Balkenterminplan aus der Antragsphase haben sich kleinere Änderungen ergeben, da die Arbeitspakete 6, 7 und 8 für vorbereitende Arbeiten etwas ausgeweitet wurden. Der Hauptanteil der Arbeiten dieser Arbeitspakete wird jedoch wie geplant in den Jahren 2020 und 2021 ablaufen.

	2019				2020				2021				2022			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
AP 1 <i>Voruntersuchung unbestrahltes Graphit</i>	UK															
AP 2 <i>Voruntersuchung bestrahltes Graphit</i>	UK															
AP 3 <i>Herstellung Referenzprobenmaterial</i>			UK													
AP 4 <i>Entwicklung des Gassystems</i>		UK														
AP 5 <i>Test Gassystem mit Referenzmaterial</i>		UK														
AP 6 <i>Betrachtung/Bewertung Entsorgungspfade</i>		GRS														
AP 7 <i>Messung realer Proben aus Anlagen</i>		GRS			UK											
AP 8 <i>Beurteilung der Ergebnisse</i>		GRS														
AP 9 <i>Aufarbeitung/Veröffentlichung</i>		UK														
AP 10 <i>Verbundkoordination</i>	GRS															

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

AP 6: Betrachtung und Bewertung von möglichen Entsorgungspfaden vor dem Hintergrund der Ergebnisse

Entgegen der ursprünglichen Planung der Antragsphase wurden in diesem Arbeitspaket bereits Arbeiten vorgezogen. Es handelte sich hierbei um das Zusammenstellen von Material und Betrachtungen der Auswirkungen, die die neue Strahlenschutzgesetzgebung auf die Freigabe hat.

Ferner wurden bereits Arbeiten zur Sammlung der gewonnenen Erkenntnisse zur Vorstellung des Vorhabens notwendig (siehe auch Abschnitt 6). Die Inhalte hierfür stammen überwiegend aus den Arbeiten der Arbeitspakete 1, 2 und 4.

AP 7: Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen

In diesem Arbeitspaket haben im Berichtszeitraum, entgegen der ursprünglichen Planung der Antragsphase, keine Arbeiten stattgefunden. Vorbereitende Arbeiten sind jedoch für das 2. Halbjahr vorgesehen. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten für das AP 7 liegt ab dem 1. Quartal 2020.

AP 8: Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf mögliche Freigabepfade und die Charakterisierung radioaktiver Abfälle

Wie in Arbeitspaket 6 wurden auch im Arbeitspaket 8 bereits Arbeiten vorgezogen, die der Vorbereitung für die Beurteilung der AMS-Ergebnisse dienen. Es wurde damit begonnen, die Auswirkungen der neuen Strahlenschutzgesetzgebung auf die Freigabe aufzuarbeiten. Des Weiteren wurde mit der Untersuchung begonnen, wie Abschätzungen des C-14-Gehaltes im Zuge der Freigabe von Graphit in laufenden Stilllegungsprojekten durchgeführt wurden.

AP 9: Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse

Arbeiten zur Vorbereitung zur Veröffentlichung der Ergebnisse sind im Berichtszeitraum nicht angefallen.

AP 10: Verbundkoordination und Projektmanagement

Im Berichtszeitraum fanden Arbeiten zur Verbundkoordination statt, wie z. B. die Organisation regelmäßiger Projekttreffen und der Abschluss der Kooperationsvereinbarung.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 6: Betrachtung und Bewertung von möglichen Entsorgungspfaden vor dem Hintergrund der Ergebnisse

Trotz der vorgezogenen Arbeiten in diesem Arbeitspaket, wird der wesentliche Teil wie geplant ab dem 4. Quartal 2019 erwartet.

AP 7: Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen

Die Forschungsarbeiten für das AP 7 waren ab dem 1. Quartal 2020 vorgesehen, es können jedoch vorbereitende Arbeiten stattfinden, insbesondere in Bezug auf die Akquise von Probenmaterial aus kerntechnischen Anlagen.

AP 8: Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf mögliche Freigabepfade und die Charakterisierung radioaktiver Abfälle

Vorbereitenden Arbeiten werden voraussichtlich im Laufe des Jahres 2019 stellenweise anfallen.

AP 9: Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse

Es ist im kommenden Halbjahr damit zu rechnen, dass erste Ergebnisse zusammengefasst aufbereitet und präsentiert werden, z.B. bei dem „International Nuclear Graphite Specialist Meeting“ (INGSM-2019), das im September stattfinden wird.

AP 10: Verbundkoordination und Projektmanagement

Die Arbeiten zur Verbundkoordination werden fortgesetzt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es besteht ein thematischer Bezug zum Forschungsvorhaben „Erforschung der Anforderungen an eine radiologische Charakterisierung zur Planung und Durchführung von Stilllegungsmaßnahmen – Bestimmung von ^{41}Ca im Bioschild eines Leistungsreaktors mittels AMS“, (BMU-Vorhaben 3617R01364). In diesem Vorhaben wird derzeit untersucht, inwieweit sich AMS zur Charakterisierung von Reaktorbeton im Hinblick auf schwer messbare Radionuklide wie z.B. ^{41}Ca eignet.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum wurden Ergebnisse oder Teilergebnisse des Vorhabens veröffentlicht. Im Rahmen eines Beitrages zum TÜV-Seminars „Neue Entwicklungen im Strahlenschutz und ihre Anwendung in der Praxis“, das am 4. und 5. Juli in München stattgefunden hat, wurde auf das Vorhaben hingewiesen.

Berichtszeitraum: 01.03.2019 bis 30.06.2019	Förderkennzeichen: 15S9410B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Universität zu Köln	
Vorhabenbezeichnung: Charakterisierung und Quantifizierung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie TP: Entwicklung eines Systems zur routinemäßigen Bestimmung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie	
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2019 bis 28.02.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 645.219,60 €
Projektleiter/-in: Erik Strub	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: erik.strub@uni-koeln.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung eines automatisierbaren Systems zur zuverlässigen Charakterisierung und Quantifizierung des C-14-Gehalts von Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie (Accelerator Mass Spectrometry, AMS), das im industriellen Bereich eingesetzt werden kann und Schwierigkeiten z.B. im Bereich der Untergrundunterdrückung oder aufwändiger Probenaufbereitung bei bisher genutzten Verfahren wie Liquid Scintillation Counting (LSC) umgeht und gleichzeitig in der Lage ist, das Unterschreiten der künftig geltenden Freigabewerte zuverlässig zu belegen. Ferner sollen Schnittstellen eines solchen AMS-Systems für die Messung weiterer Radionuklide definiert werden, um künftig die simultane Messung von C-14, Cl-36 und H-3 aus einer einzelnen Probe zu ermöglichen.

Das Verbundvorhaben gliedert sich in die Teilprojekte „Entwicklung eines Systems zur routinemäßigen Bestimmung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie“ (Universität zu Köln) und „Optimierung der Entscheidungsmessung und Freigabemengen (GRS gGmbH). Ziel des hier beantragten Teilvorhabens ist, auf Basis der Ergebnisse der Reaktorgraphit-Charakterisierung mittels AMS und unter Berücksichtigung der mit der neuen Strahlenschutzgesetzgebung einhergehenden Freigabekriterien Empfehlungen für eine konkrete Freigabeprozedur zu definieren. Darüber hinaus soll bewertet werden, ob eine Charakterisierung von Reaktorgraphit mittels AMS als Stand von Wissenschaft und Technik angesehen werden kann, und welche Bedeutung die gewonnenen Erkenntnisse im Hinblick auf die Entsorgung vorhandener Reaktorgraphit-Bestände in Deutschland hat.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Eine ausführliche Beschreibung des Arbeitsplans findet sich in der Vorhabensbeschreibung. Die Arbeiten werden sind in folgende Arbeitspakete gegliedert:

- AP 1 Voruntersuchungen an unbestrahlten Graphitproben
- AP 2 Voruntersuchungen an bestrahlten Reaktorgraphitproben
- AP 3 Herstellung von Referenz-Probenmaterial für die AMS-Messungen
- AP 4 Entwicklung des Gassystems mit Elemental Analyzer und Verbindung zur AMS-Anlage

- AP 5 Test des Gassystems zur Verdünnung über die Charakterisierung der bestrahlten Referenz-Graphitproben
- AP 6 Betrachtung und Bewertung von möglichen Entsorgungspfaden vor dem Hintergrund der Ergebnisse
- AP 7 Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen
- AP 8 Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf mögliche Freigabepfade und die Charakterisierung radioaktiver Abfälle
- AP 9 Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse
- AP 10 Verbundkoordination und Projektmanagement

Im folgenden Balkenterminplan sind die Einzelnen Arbeitspakete in ihrer zeitlichen Abfolge und Zuordnung dargestellt.

	2019				2020				2021				2022			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
AP 1 <i>Voruntersuchung unbestrahltes Graphit</i>	UK															
AP 2 <i>Voruntersuchung bestrahltes Graphit</i>	UK															
AP 3 <i>Herstellung Referenzprobenmaterial</i>			UK													
AP 4 <i>Entwicklung des Gassystems</i>		UK														
AP 5 <i>Test Gassystem mit Referenzmaterial</i>		UK														
AP 6 <i>Betrachtung/Bewertung Entsorgungspfade</i>				GRS												
AP 7 <i>Messung realer Proben aus Anlagen</i>				UK												
AP 8 <i>Beurteilung der Ergebnisse</i>				GRS												
AP 9 <i>Aufarbeitung/Veröffentlichung</i>		UK														
AP 10 <i>Verbundkoordination</i>		GRS														

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

Mit den Arbeiten zu Voruntersuchungen an unbestrahlten und bestrahlten Graphitproben (AP 1 und 2) wurde im Berichtszeitraum begonnen. Hierzu wurden Röntgenfluoreszenzanalysen (XRF) und Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)-Messungen vorbereitet und durchgeführt. Die Arbeiten zur Entwicklung des Gassystems wurden aufgenommen (AP 4) und ein technisches Design erstellt. Im Berichtszeitraum befand sich das Gassystems im Aufbau.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm- punkten)

Die begonnenen Arbeiten werden wie geplant fortgesetzt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es besteht ein thematischer Bezug zum Forschungsvorhaben „Erforschung der Anforderungen an eine radiologische Charakterisierung zur Planung und Durchführung von Stilllegungsmaßnahmen – Bestimmung von ^{41}Ca im Bioschild eines Leistungsreaktors mittels AMS“, (BMU-Vorhaben 3617R01364). In diesem Vorhaben wird derzeit untersucht, inwieweit sich AMS zur Charakterisierung von Reaktorbeton im Hinblick auf schwer messbare Radionuklide wie z.B. ^{41}Ca eignet.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum wurden Ergebnisse oder Teilergebnisse des Vorhabens veröffentlicht. Im Rahmen eines Beitrages zum TÜV-Seminars „Neue Entwicklungen im Strahlenschutz und ihre Anwendung in der Praxis“, das am 4. und 5. Juli in München stattgefunden hat, wurde auf das Vorhaben hingewiesen.

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	Förderkennzeichen: 15S9411
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität München, ZTWB Radiochemie München (RCM)	
Vorhabenbezeichnung: Verbesserung der quantitativen Datenauswertung für die zerstörungsfreie Charakterisierung radioaktiver Behälter und Objekte (Quant)	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.05.2019 bis 30.04.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 943.315,14 €
Projektleiter: Dr. Christoph Lierse von Gostomski	E-Mail-Adresse des Projektleiters: Christoph.lierse@tum.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Rahmen des Vorhabens soll eine effektive Verknüpfung von Daten aus dem segmentierten Gamma-Scanning, Transmissionsmessungen mit Gamma-Strahlern und a-Priori-Informationen unter Verwendung bayes'scher Verfahren erarbeitet werden.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die geplanten Arbeitsschritte sind:

- AP 1. Informationsgewinnung
- AP 2. Entwicklung eines Voxel-Modells
- AP 3. Modellentwicklung - Auswertung Gamma-spektrometrischer Messungen und Nuklididentifikation
- AP 4. Ableitung der Matrixzusammensetzung
- AP 5. Simulation der Messdaten
- AP 6. Iterative Optimierung
- AP 7. Korrelation von Messdaten und sonstigen Informationen
- AP 8. Realisation eines einfach zu bedienenden Auswerteprogramms
- AP 9. Verifikation durch Messungen mit Kalibrationsobjekten bekannter Matrixzusammensetzung und bekannter Aktivitätsverteilung
- AP 10. Diskussion der Ergebnisse und Abschluss des Projekts mit einem ausführlichen Bericht

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Seit Eingang der Bewilligung und dem Vorhabenbeginn wurden überwiegend administrative Arbeiten ausgeführt. Hierzu zählen die Ausschreibung der Stellen sowie die Vergabe von Unteraufträgen.

4. Geplante Weiterarbeit

Im kommenden Berichtszeitraum bis zum 31.12.2019 wird nach Besetzung der ausgeschriebenen Stellen mit den Arbeiten zu den Arbeitspaketen 1, 3 und 4 begonnen. Parallel hierzu wird die Vergabe von Aufträgen vorangetrieben, um die vorgesehene Unterstützung in den Arbeitspaketen 2, 3, 6, 7 und 8 zu erhalten.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019	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 herzustellen und Dritten zur Verfügung zu stellen. So wird z. B. durch Kombination der Risikoaspekte in der Projekt- und Prozessplanung mit den Mechanismen für eine gute menschliche Zuverlässigkeit eine robuste Planung der Prozesse erreicht. Die Teilziele des Vorhabens sind demgemäß:

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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)

Bezüglich des Arbeitspaktes **AP 2.1** wurde die Entwicklung des Safety-Scanning-Tools zur robusten Planung von Rückbauvorhaben im Virtuellen Raum (VS) zur Anwendungsreife gebracht. Die letzten Entwicklungsschritte umfassten eine Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit der Software, um einen reibungslosen Ablauf der Planungssessions zu gewährleisten. Abbildung 1 und 2 zeigen die Darstellung des Fragenkatalogs bzw. des Outputs. Zur Validierung der aktuellen Version des Tools durch Expertenurteile aus der Perspektive von Praktikern wurde das Tool einer Expertengruppe vorgestellt und die Fragen validiert. Die Integration des Verfahrens- und Maschinenkatalogs stehen noch aus.

The screenshot shows a web application window titled 'Abfallmanagement'. The main heading is 'Abfallmanagement'. Below it, there are three questionnaire items, each with a radio button scale (1-5) and a dropdown menu for 'Einfluss auf die Sicherheit'.

- Item 1:** 'Werden bei der Auswahl der Rückbauverfahren die entstehenden Abfallarten berücksichtigt?' (Selected: 5, 'stark'). Note: 'beton, bewährung, stäube, material muss mit in das abfallmanagement berücksichtigt werden, -> ersten schnitt prüfen'.
- Item 2:** 'Kann bereits bei der Planung der Prozesse die Art der entstehenden Abfälle geschätzt werden?' (Selected: 3, 'mittel'). Note: (empty).
- Item 3:** 'Sind Kenntnisse zum Umgang mit Gefahrengut, dass zusätzlich zum radioaktiven Abfall anfällt (z.B. Asbest), vorhanden?' (Selected: 2, 'mittel'). Note: 'qualifikationcheck hinsichtlich abfallarten & entsorgung; verpackung; qualifikationsnachweis für abfallarten'.

Abbildung 1. Fragenkatalog

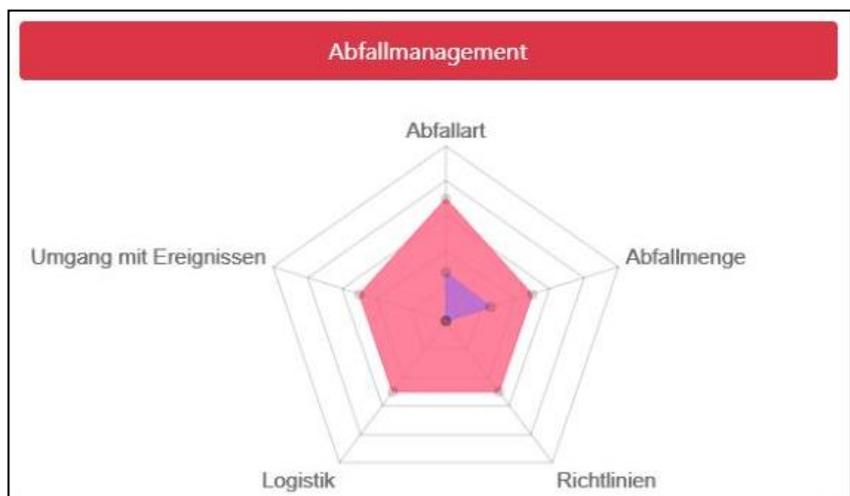


Abbildung 2. Ergebnisoutput

Die Auswahl der kritischen Rückbautätigkeiten (**AP 3.1**) befindet sich in Arbeit. Aktuell wurden exemplarisch bereits zwei Maschinen - eine Diamantseilsäge und ein Winkelschleifer – bezüglich ihres Risikopotentials durch menschliche Fehlbedienung analysiert. Bei der Diamantseilsäge konnte auf eine eigene Versuchsreihe im Rahmen einer Rückbausimulation mit den Kollegen am TMB zurückgegriffen werden, während für die Beurteilung der menschlichen Fehlerpotentiale bei der Bedienung des Winkelschleifers primär auf den Verfahrenskatalog vom TMB und weitere Literaturrecherche zurückgegriffen wurde.

Ziel ist es, eine Bewertungsmethode zu entwickeln, die sowohl die Sicherheitsanforderungen als auch die betrieblichen Anforderungen gemeinsam optimiert. Die gewonnenen Erkenntnisse zu den Risiken und Chancen der einzelnen Maschinen werden auch in das Planungstool integriert, sodass diese innerhalb einer Planungssession – unter Berücksichtigung sämtlicher Kontextfaktoren – zu einer effektiven Entscheidung bezüglich Kosten und Sicherheit führen.

Die oben genannte Rückbausimulation am TMB fand im Februar 2019 statt. Dazu wurde ein Versuchsstand mit einer Diamantseilsäge aufgebaut. Diese wurde sowohl von einem Laien als auch von einem im Umgang mit der Diamantseilsäge geschulten Experten eingerichtet und bedient. Das Vorgehen wurde mittels Eye-Tracking-Technologie aufgezeichnet, sodass unterschiedliche Vorgehensweisen aus der Perspektive der ausführenden Personen, inklusive Blickbewegungen, vorliegen. Diese Aufnahmen und der Vergleich zwischen dem Laien und dem Experten dienen der qualitativen Analyse der Diamantseilsäge und sollen perspektivisch auch quantitativ bei der Entwicklung des Assistenz- und Ergonomie-Bewertungssystems eingesetzt werden.

Im Zuge dieser Versuche wurde auch die Live-Assistenz getestet, im Rahmen derer der Laie per Videoübertragung des Eye-Trackings auf einen Laptop durch den Experten in Echtzeit instruiert werden konnte. Der Nutzen des Verfahrens wurde von allen Beteiligten als hoch eingestuft. Die Ergebnisse der Versuchsreihe wurden im Rahmen der KONTEC-Konferenz 2019 vorgestellt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Auswahl von kritischen Rückbautätigkeiten (**AP 3.1**) wird mit weiteren Maschinen fortgesetzt und, im Zuge der Weiterentwicklung des Verfahrenskatalogs durch unsere Kollegen vom TMB, ergänzt. Des Weiteren sollen die qualitativen Einschätzungen des menschlichen Fehlerpotentials durch die Nutzung der unterschiedlichen Maschinen mithilfe der HRA-Methode CAHR quantifizierbar gemacht werden, um die Verfahrenswahl objektiver zu gestalten (**AP 4.1**).

Zur anforderungsnahen Entwicklung und tiefergehenden Beurteilung der Verwendung von Live-Assistenz bei der Bedienung von Maschinen, wurde ein Versuchsstand am Fachgebiet A&O aufgebaut. Er besteht aus einer kleinen Fräsmaschine und einem Remote-Unterstützungszentrum. Der Versuchsstand wird für die Simulation realitätsnaher Situationen in Kombination mit Live-Assistenz verwendet und dient der Systementwicklung des Unterstützungssystems. Im Hinblick auf **AP 5** und **AP 6** im letzten Projektjahr wird dieses Vorgehen den Entwicklungsprozess der Unterstützungssysteme ergänzen.

Zur Beurteilung des Planungstools sowie zur Unterstützung und Validierung der Analyse kritischer Rückbautätigkeiten wurde im Rahmen der KONTEC-Konferenz Kontakt zu potentiellen Anwendungspartnern aufgenommen. Folgende Anwendungspartner wurden angesprochen: die Kraftwerkschule Essen, der TÜV, das Kernkraftwerk Biblis sowie die Firmen RWE, Siempelkamp und WIKUS. Die Firmen Siempelkamp und WIKUS haben hohes Interesse an dem Assistenzsystem signalisiert. Da jedoch eine Demonstration der Umsetzbarkeit bisher nicht möglich war, wurde der o.g. Versuchsstand aufgebaut. RWE und Biblis prüfen derzeit, ob sie in das Projekt eintreten wollen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Vortrag bei der KONTEC im März 2019, gehalten von Prof. Dr. Sträter

Berichtszeitraum: 01.01.2019 bis 30.06.2019		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 herzustellen und Dritten zur Verfügung zu stellen. So wird z.B. durch Kombination der Risikoaspekte in der Projekt- und Prozessplanung mit den Mechanismen für eine gute menschliche Zuverlässigkeit eine robuste Planung der Prozesse erreicht. Die Teilziele des Vorhabens sind demgemäß:

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm (KIT)

AP 1: Kommunikation, Koordination, Dokumentation & Veröffentlichung

AP 2.2: Zusammenstellung eines 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)

Bisher wurden wie im letzten Zwischenbericht dargelegt in **AP 2.2** die Kriterien für die Verfahren festgelegt. Mit der Recherche bereits ausgewählter Quellen/Literatur aus dem kerntechnischen und dem konventionellen Rückbau sowie allgemeiner Verfahren aus der Fertigungstechnik konnte ein bereits umfangreicher Katalog an Verfahren erstellt werden. Die ursprüngliche Idee, eine Sortierung gemäß der DIN-Normen vorzunehmen, musste aber geändert werden. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse macht diese Unterteilung teilweise für die kerntechnische Anwendung keinen Sinn, da Verfahren teilweise nicht vollständig erfasst sind oder auch teilweise die Normen veraltet sind.

Z.B. wurde die DIN 8200 „Strahlverfahrenstechnik“ im Jahr 2008 ersatzlos zurückgenommen. Auch in der gängigen Literatur über Fertigungstechniken werden die Strahlverfahren nicht ausreichend beschrieben. Die Strahlverfahren sind jedoch im kerntechnischen Rückbau bedeutende Verfahren, die bereits Anwendung z.B. bei der Zerlegung des Reaktordruckbehälters, finden. Folglich mussten diese dann aufwändig aus mehreren Quellen ermittelt und sinnvoll gegliedert werden.

Im Laufe der Recherche wurde daher auch der Kriterienkatalog nochmals neu angepasst, wie in folgender Tabelle dargestellt:

Kriterium	Datentyp
Verfahren	TEXT
Untergruppe Verfahren	TEXT
Definition Verfahren nach DIN	LONGTEXT
Gruppe	{Zerteilen; Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden; Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden; Abtragen; Zerlegen; Reinigen}
Verfahrenstyp im Rückbau	{Zerlegeverfahren; Dekontamination mit Grundmaterialabtrag; Dekontamination ohne Grundmaterialabtrag}
Kategorie	{mechanisch; thermisch; chemisch; elektrochemisch; thermisch-chemisch}
Verfahrensbeschreibung	LONGTEXT
Anwendungsbereich allg.	TEXT
Besonderheit	LONGTEXT
Bearbeitungsumfeld	{Luft; Wasser; Luft/Wasser}
Prozesswasser	{ja; nein}
Bearbeitungstiefe	{Oberfläche; Tiefe; Trennen}
Vorteile	LONGTEXT
Nachteile	LONGTEXT
Beton	{ja; nein}
leitendes Metall	{ja; nein}
nichtleitendes Metall	{ja; nein}
Gummi	{ja; nein}
PVC (Bodenbeläge)	{ja; nein}
Boden-/Wandbeschichtungen	{ja; nein}
Glas, Emaille, Fliesen, Keramik	{ja; nein}
Kunststoff	{ja; nein}

Im Februar 2019 fanden am TMB gemeinsam mit den Kollegen aus Kassel die umfangreichen Seilsägeversuche statt. Hierzu wurde eine Seilsäge angemietet und in einen modifizierten Prüfstand eingebettet. Bei der Untersuchung wurde die Einrichtung und Inbetriebnahme der Maschine jeweils von einem „Profi“, einem „Laien“ und dem „Laien“ mit Anweisungen des „Profis“ über Kamera durchgeführt. Diese verschiedenen Abläufe und Szenarien mit Aufnahmen und Messungen dienen nun im weiteren Projektverlauf als Grundlage für die wissenschaftlichen Auswertungen.

In **AP 3.2** wurden Werkzeuge, Trägergeräte und deren Daten bei verschiedenen Herstellern und der Literatur recherchiert. Für die Werkzeuge wurden jeweils Kriterien festgelegt, z.B. für Abbruchhammer die Kriterien „Nennleistung“, „Schlagenergie“, „Gewicht“, „Breite“, „Länge“ und „Höhe“. Diese Daten wurden dann für jeweils verschiedene Produkte von unterschiedlichen Herstellern zusammengetragen, um am Ende ein Spektrum anzugeben, welche

Geräte für welche speziellen kerntechnischen Anwendungsfälle auf dem Markt verfügbar sind.

Diese wissenschaftliche Datenbasis wurde bereits durchgeführt für folgende Werkzeuge:

Abbruchhammer, Winkelschleifer, Betonfräsmaschinen, Seilsägen, Plasmaschneidsysteme, Trockeneisstrahlsysteme, Hochdruckpumpen und Nadelpistolen.

Zusätzlich wurden Informationen gesammelt zu folgenden Trägergeräten:

Abbruchroboter, Tunnelbagger, Teleskopbagger, Schreitbagger, Bagger, Radlader, Teleskopstapler, Teilschnittmaschine, Universalbaggerladegerät, Minikran, Wechsellader mit folgenden Kriterien: Gerätebeschreibung, Antriebsart, Fernbedienbarkeit, Gewicht, Breite, Länge, Höhe, Motorleistung und Wechselaufnahme

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2.2: Komplettierung der Verfahrensliste mit Hilfe weiterer Literaturrecherche. Geplant ist die weitere ständige Erweiterung und Ergänzung der Datensätze.

AP 3.2: Geplant ist es, die Werkzeuge den Verfahren zuzuordnen und für die Weiterbearbeitung zu jedem Verfahren mind. ein exemplarisches Werkzeug zu haben, an welchem die Risikokriterien bewertet werden sollen. Darüber hinaus werden die Listen weiter mit Daten ergänzt.

Beginn mit **AP 4.2** „Risikoidentifizierung“

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Vortrag Kontec in Dresden im März 2019, gehalten von Prof. Dr Sträter

**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