

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum

1. Juli - 31. Dezember 2019

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
1. Juli - 31. Dezember 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.

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
01.	Zerlegeverfahren	
15S9402A	Verbundprojekt: Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser - Teilprojekt: Grundlagenprozesse und Prozessentwicklung	6
15S9402B	Verbundprojekt: Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser - Teilprojekt: Entwicklung einer Prozesssteuerung für Hybrid-Trennverfahren unter Wasser	9
15S9404	Innovatives Seilschleifkonzept für die Bearbeitung von Stahl	12
15S9408	Automatisierte Zerlegung von Reaktordruckbehältereinbauten mit Hilfe von Unterwasser-Lasertechnik	16
15S9415A	Verbundvorhaben: Entwicklung eines neuartigen, universellen Rohrintrenners für die Demontage von (kontaminierten) Rohrleitungen Teilprojekt: Entwicklung eines innovativen Schneidwerkzeug-Demonstrators und eines Prüfverfahrens inkl. Prüfstand zur experimentellen Untersuchung.	20
15S9415B	Verbundvorhaben: Entwicklung eines neuartigen, universellen Rohrintrenners für die Demontage von (kontaminierten) Rohrleitungen Teilprojekt: Konzeptionierung, Herstellung und Erprobung eines neuartigen Befestigungs- und Trägersystems, der Zustelleinheit sowie des Antriebs des Rohrintrenners.	23
02.	Dekontaminationsverfahren und Gebäudefreigabe	
15S9403A	Verbundprojekt: Automatisierte Dekontaminationskabine für den Einsatz beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Dokumentation 4.0	26
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	29
15S9403C	Verbundprojekt: Automatisierte Dekontaminationskabine für den Einsatz beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Entwicklung und Konstruktion einer vollautomatisierten Dekontaminationskabine mittels Hochdruckwasserstrahlen	33
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	36
15S9409B	Verbundprojekt: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen - Teilprojekt: Entwicklung und Anwendung einer Rechenmethode zur genauen Bestimmung der Aktivitäts- und Dosisleistungsverteilung von KKW für optimalen Rückbau	39
15S9412	Wege zum effizienten Rückbau von Reaktorkomponenten und Betonabschirmung: Berechnung des Aktivitätsinventars und deren Validierung an Bohrkernen sowie Mobilitätsuntersuchungen von Radionukliden	42
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	44
15S9413B	Verbundvorhaben: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung von radioaktiv kontaminierten Zementstein mittels elektrohydraulischer Fragmentierung	47
15S9416A	Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Durchführung experimentelle Versuche und Auswertung an Versuchsmuster	49

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
15S9416B	Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster	51
15S9416C	Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Detaillierung und Ausgestaltung der Versuchsmuster samt Einhausung mit Absaugung	54
15S9416D	Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Praxisversuche und Verifizierung	56
15S9418A	Verbund: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau (LaDeco) – Teilprojekt: Ermittlung von Sekundäremissionen bei der laserbasierten Dekontamination und Praxiserprobung	58
15S9418B	Verbund: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau (LaDeco) - Teilprojekt: Untersuchungen zur thermischen Zersetzung, zum Partikeltransport und zur Lackdetektion auf Betonoberflächen	60
03.	Abfallbehandlung, Abfalldeklaration, Zwischenlagerung	
15S9400	Automatisierte, rechnergestützte Verpackungsplanung zur Reduzierung der Massen und Volumina der Abfallgebinde für das Endlager Konrad	62
15S9405A	Verbundprojekt: Konzeptstudie zur Entsorgung von aktiviertem Beryllium aus Forschungsreaktoren - Teilprojekt: Dekontamination, Konditionierung und Verwertung von bestrahltem Beryllium (KONEKT)	66
15S9405B	Verbundprojekt: Konzeptstudie zur Entsorgung von aktiviertem Beryllium aus Forschungsreaktoren - Teilprojekt: Inventarisierung und Randbedingungen zu Endlagerung von bestrahltem Beryllium (KONEKT)	69
15S9406A	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Entwicklung und Bau der Messanlage	71
15S9406B	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Methoden- und Softwareentwicklung	74
15S9406C	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Online-Messungen des Neutronenflusses	77
15S9407A	Verbundprojekt: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagerechten Konditionierung von Reaktorgraphit - Teilprojekt: Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Konditionierungsverfahren mit Nuklidseparation zur Volumenreduktion	80
15S9407B	Verbundprojekt: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagerechten Konditionierung von Reaktorgraphit - Teilprojekt: Entwicklung und Erprobung von Verfahrensansätzen zur Vergasung von Reaktorgraphit für die optimale Abtrennung radioaktiver Kontaminationen	83
15S9410A	VP: Charakterisierung und Quantifizierung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie - Teilprojekt: Optimierung der Entscheidungsmessung und Freigabemengen	86
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	90
15S9411	Verbesserung der quantitativen Datenauswertung für die zerstörungsfreie Charakterisierung radioaktiver Behälter und Objekte	93

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
04.	Umwelt- und Strahlenschutz	
15S9417	Umsetzung von Schwermetall-Landfarming zur nachhaltigen Landschaftsgestaltung und Gewinnung erneuerbarer Energien auf radionuklidbelasteten Flächen: Optimierungsstrategien (USER-II)	96
05.	Mensch und Organisation	
15S9401A	Verbundvorhaben: Sicherer und kosteneffektiver Rückbau (SIKOR) - Teilprojekt: Planung und Durchführung zuverlässiger Personalhandlungen	99
15S9401B	Verbundvorhaben: Sicherer und kosteneffektiver Rückbau (SIKOR) - Teilprojekt: Technische Risikoaspekte	102
15S9414A	Verbund: Entwicklung eines benutzerfreundlichen kostenoptimierenden Planungswerkzeugs für kerntechnische Rückbauprojekte unter der Berücksichtigung von Stoffströmen zur Ressourcenplanung (NukPlaRStoR) - Teilprojekt: Methodische Konzeptionierung	104
15S9414B	Verbund: Entwicklung eines benutzerfreundlichen kostenoptimierenden Planungswerkzeugs für kerntechnische Rückbauprojekte unter der Berücksichtigung von Stoffströmen zur Ressourcenplanung (NukPlaRStoR) Teilprojekt: Benutzeroberfläche und Schnittstellen	107

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 der Anwendung von thermischen Schneidverfahren im Rückbau sowie weiterführender Literaturrecherche und theoretischer Betrachtungen erfolgt die Auswahl potentiell geeigneter Vorwärmverfahren für den hybriden Brennschneidprozess. Im Rahmen praktischer Untersuchungen sowie unter der Zuhilfenahme von Simulation und Modellbildung erfolgt im Anschluss die Validierung der Wärmequellenauswahl. Aufbauend auf diesen grundlegenden Untersuchungen wird parallel zur Ausarbeitung des Lastenheftes für die fernhantierte thermische Zerlegung die Entwicklung der Prüfstände für die praktischen Untersuchungen vorangetrieben. Aufbauend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen erfolgt die Verfahrensauswahl der für den Versuchsbrenner geeigneten Vorwärmverfahren.

Unter Berücksichtigung der bereits ermittelten Ergebnisse erfolgt die Erstellung des Pflichtenheftes für das Trennverfahren. Es schließt sich die Durchführung und Auswertung weiterer Versuche mit den ausgewählten Wärmequellen unter Berücksichtigung der Aspekte des Verfahrens-Pflichtenheftes an. Auf der Grundlage der in diesen Versuchen ermittelten Parameter der Wärmequellen erfolgt in enger Abstimmung mit dem Projektpartner NUKEM die Erstellung des Lasten- und Pflichtenheft für den Demonstrator und hieran anschließend

die Entwicklung und Bau des Demonstrators. Zum Abschluss des Projektes erfolgt die Qualifizierung des Demonstrators sowie eine Quantifizierung der erzielbaren Schneidleistungen.

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

- Im AP4 wurde die ausstehende Parameterstudie zum Vorwärmprozess mittels Plasmabrenner 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. Der Einsatz des Unterwasser-Plasmabrenners kann als reines Vorwärmverfahren nicht mit dem Autogenbrenner und dem Induktor verglichen werden. Um einen Schneidvorgang von dickwandigen Bauteilen zu ermöglichen kann der Plasmabrenner aber als zweites Schneidverfahren, welches im Zusammenspiel mit dem Autogenbrenner eine gemeinsame Wirkzone bildet, genutzt werden.
- Im AP10 wurden für die Entwicklung und den Bau des Demonstrators neue Aufnahmen konstruiert und gefertigt, die einen Hybridprozess ermöglichen. Die modulare Bauweise ermöglicht es den Abstand zwischen Vorwärm- und Schneideinheit flexibel zu variieren. Ebenfalls kann der Winkel des Autogen- und des Plasmabrenners verändert werden, um sowohl das Arbeiten mit einer gemeinsamen oder einer nachlaufenden Wirkzone zu ermöglichen. Bei der Kombination dieser beiden Verfahren ist die Strahlkinetik beider Prozesse für einen erfolgreichen Trennvorgang ausschlaggebend. Kommt es zu einer Kreuzung des sich im Überschallbereich befindlichen Autogenstrahls mit dem sich ebenfalls im Überschallbereich befindlichen Plasmagasstrahl, wird die Stabilität des letzteren erheblich gestört. Das entsprechende Verfahren kann dadurch in seiner Leistung deutlich verringert werden.

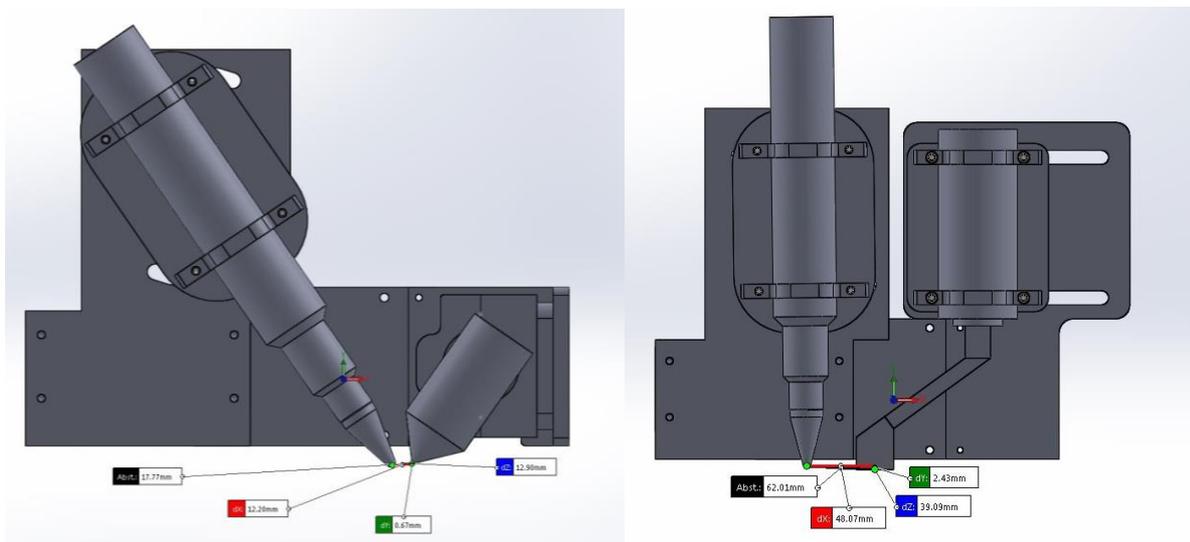


Abbildung 1: Autogenbrenner in Kombination mit einem Plasmabrenner (links) und mit einem Induktor (rechts)

- Bei einem Hybridprozess in dem der Schneidprozess des Autogenbrenners durch den Einsatz des Induktors unterstützt wird kann es ebenfalls zu einer Beeinflussung des Schneidvorganges kommen. Bei diesem Verfahren besteht ein hohes Risiko den Induktor zu beschädigen in dem die Prozesszone des Autogenbrenners diesen berührt. Um einer

Beschädigung des Induktors vorzubeugen muss dieser in einem ausreichenden Abstand zum Autogenbrenner montiert und geführt werden. Durch den modularen Aufbau der Aufnahmen kann dieses gewährleistet werden.

- Für das AP11 wurden bereits Vorarbeiten sowie erste Anpassungen der Druckkammer vorgenommen. Zudem wurden Umbauten durchgeführt, um die Brenner unter der geforderten Wasserüberdeckung betreiben zu können.
- Für die Schallmesstechnik wurden magnetische Sensorbefestigungen konstruiert, um den Bearbeitungsaufwand am Probenmaterial durch das Einbringen von Befestigungspunkten zu minimieren. Somit ist auch eine bessere nachträgliche Anpassung der Sensorposition an die Probengeometrie im Versuchsbetrieb möglich.
- Für die Auswertung der optischen Messdaten werden die Eigenschaften der verwendeten CMOS Bildaufzeichnungstechnik genutzt. CMOS Bildsensoren können nur Helligkeitswerte erfassen. Für Farbaufzeichnungen werden jeweils 4 Bildpunkte mit einem Bayerfilter maskiert und zu einem farbigen Bildpunkt zusammengefasst. Zur Verwendung kommt hierbei der RGB-Farbraum. Ein RGB Bildpunkt besteht aus zwei grün und jeweils einem rot und einem blau maskierten CMOS Sensor. Aus den Videodaten lassen sich somit Information über die Farbzusammensetzung des sichtbaren Lichtes in der Prozesszone gewinnen. Weiterhin ist es möglich die Intensität des Lichteinfalls durch eine gewichtete Summation der Einzelkanäle zu ermitteln.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Fertigstellung der bereits begonnenen Arbeiten in AP10 zur Entwicklung und dem Bau des Demonstrators zur Qualifizierung der hybriden Zerlegverfahren und zur Quantifizierung der Zerlegleistung.
- Die in AP9 bereits besprochenen Anforderungen an die Mock-Ups müssen bezüglich einer geeigneten Geometrie sowie der Auswahl der Werkstoffe, in Anlehnung an praxisrelevante Trennaufgaben in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner, festgelegt werden. Sowie die Beschaffung der Mock-Ups für die Validierung der Verfahren.
- Durchführung einer nach DoE geplanten Versuchsreihe mit den beiden Hybridprozessen in AP11. Die Parameterfenster für einen stabil ablaufenden, hybriden thermischen Trennprozess sollen zunächst unter einer Wasserüberdeckung von ca. 0,5 m ermittelt werden.
- Weitere Vorbereitung und Anpassung der Druckkammer für die Qualifizierung des Demonstrationsbrenners in AP11 bezüglich der Randbedingungen eines potentiellen Einsatzes.
- Kontinuierliches erfassen der durchgeführten Arbeiten sowie Aufbereitung der Mess- und Analyseergebnisse zur Erstellung der in AP12 vorgesehenen Dokumentation.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es kann zurzeit kein Bezug zu anderen Vorhaben hergestellt werden.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Für den aktuellen Berichtszeitpunkt liegen keine Veröffentlichungen vor.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 Fernhandlung 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 im Rahmen eines Workshops mit der Universität Hannover ausgetauscht und das Pflichtenheft verfeinert. Das Pflichtenheft beinhaltet Angaben zu den übergeordneten Anforderungen an das hybride Schneidverfahren, den zu zerlegenden Bauteile, der Spezifikation des Zerlegeumfeldes, sowie der Prozessüberwachung. Bei der Prozessüberwachung soll die Flexibilität der Umsetzung gesteigert werden. Dazu werden bei den weiteren Versuchen auch Hydrophone in die Betrachtung und Versuche mit aufgenommen, da diese keinen direkten Bauteilkontakt benötigen. Die Spezifikation als Basis für die Beschaffung wurde abgestimmt.

Für die Planung der Prototypenanlage wurde die Architektur der Prozessleittechnik der übergeordneten Steuerung weiter vertieft (siehe Abb. 01). Ziel ist die Ansteuerung der Prototypenanlage mit den prozessrelevanten Parametern des Hauptprozesses (autogenes Brennschneiden) unter Einbindung der notwendigen Schalt- und Steuerungssignalen für die periphere Anlagentechnik mit untergeordneten Steuerungen (zusätzliche Wärmequelle und Führungssystem). Für diese Aufgabe wird eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) zum Einsatz gebracht. Die SPS besitzt eine OPC Schnittstelle und kommuniziert über eine Ethernet-Verbindung mit dem PC für die Prozessüberwachung der Brennersteuerung und der Linearantriebe. Damit können verarbeitete Signale (z.B. Durchschnittskontrolle) erfasst und in die Steuerung des Prozesses eingebunden werden. Zusätzliche Sensorik, wie z.B. Umgebungsdruck als Maß für die Wassertiefe werden dabei ebenfalls berücksichtigt.

Die Sensoren werden über Analog-Eingangskarten an die SPS angeschlossen. Ein Switch als Bestandteil eines Ethernet-Netzwerkes sorgt für den Datenaustausch der Geräte untereinander. Die Linearantriebe, der Plasmabrenner und der Autogenbrenner werden, sofern sie über Ethernet-Anschlüsse verfügen ebenfalls in das Netzwerk einbezogen. Damit stehen alle relevanten Daten im gesamten Steuerungssystem zur Verfügbarkeit. Die Visualisierung aller relevanten Informationen erfolgt über die Bildschirme des PC mit Hilfe von Web-Applikationen.

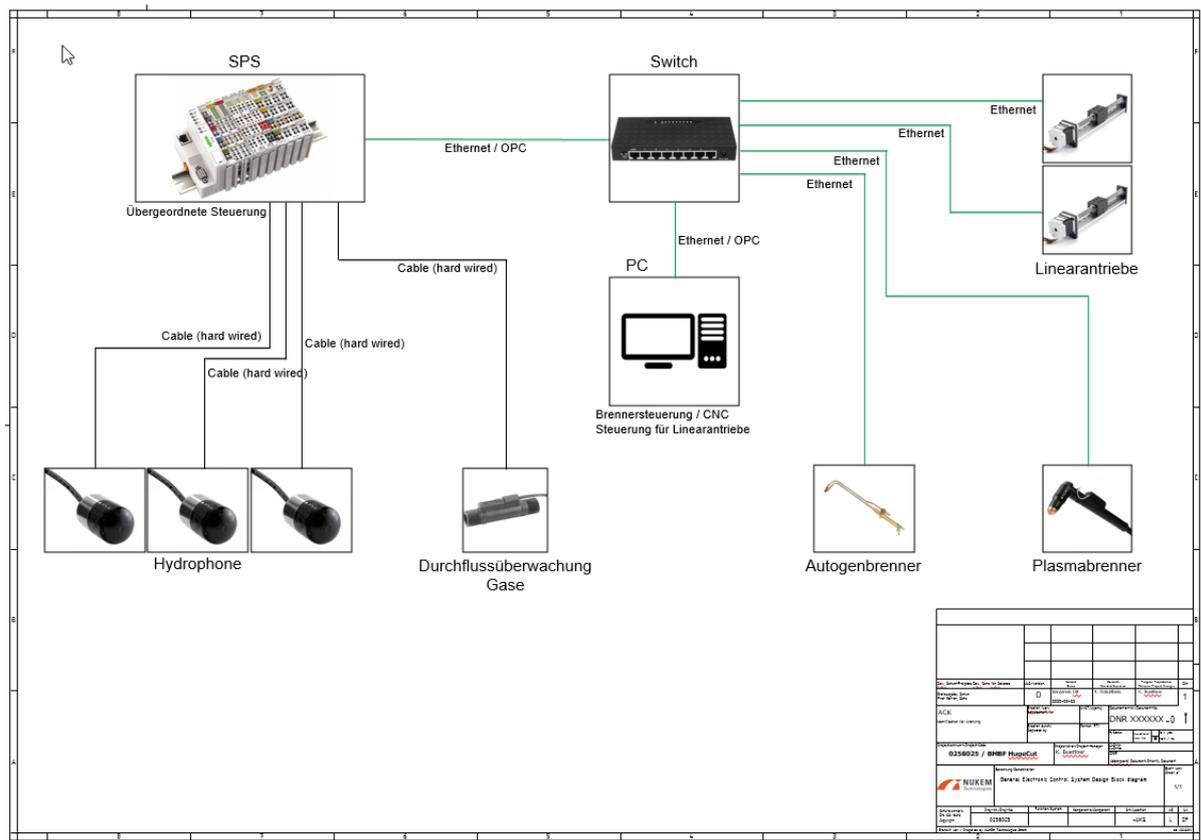


Abb. 01: Architektur der Prozessleittechnik

Die notwendigen Aktoren wurden spezifiziert und befinden sich im Beschaffungsprozess. Neben den Druckregelventilen für Propan und Sauerstoff sind dies vor allem die Hydrophone.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammunkten)

Die Beschaffung der Aktoren und Sensoren soll abgeschlossen werden und der Bau der Prototypenanlage vorangetrieben werden. Ziel sind die ersten Tests der Anlage und deren Optimierung.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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: 01.12.2017 bis 30.11.2020	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 457.918,94 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: denkena@ifw.uni-hannover.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des beantragten Forschungsvorhabens ist es, die Leistungsfähigkeit von Seilschleifwerkzeugen für den Rückbau metallischer Strukturen in Kernkraftanlagen um 10 bis 20 %, sowie deren Standzeit um bis zu 50 % zu steigern. Da bei der Bearbeitung von Metall kein Selbstschärfeeffekt der eingesetzten Schleifperlen auftritt, werden beim Seilschleifen von Metallen derzeit ausschließlich einschichtig belegte Schleifperlen eingesetzt. Im Gegensatz zu den mehrschichtigen Schleifperlen liegt hier nur eine Lage Schleifkörner in der Bindung vor. Ist diese verschlissen, muss das komplette Seil ausgetauscht werden, sodass hohe Werkzeugkosten entstehen. In Kombination mit hohen thermischen Werkzeugbeanspruchungen ist die Standzeit der Diamantseilschleifwerkzeuge gering. Zudem kann bei vielen Rückbauanwendungen nicht mittels Wasser gekühlt werden. Durch die Nutzung von mehrschichtigen Perlen mit temperaturbeständigen CBN-Schleifkörnern und 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

AP1 Entwicklung angepasster Schleifperlen durch Flatschleifuntersuchungen

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

AP2 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.

AP3 Prozessentwicklung und Herstellung eines Werkzeug-Demonstrators

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

AP4 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)

AP3: Zur Untersuchung der Eignung unterschiedlicher Vergusswerkstoffe für Seilschleifwerkzeuge wurden zwei Prototypenseile gefertigt. Hierbei wurden ein hydrierter Acrylnitrilbutadien-Kautschuk (HNBR) sowie eine Fluor-Kautschuk-Mischung (FKM) als Vergusswerkstoffe eingesetzt. Diese Werkstoffe sind beide ohne Adaption im konventionellen Herstellungsprozess für Seilschleifwerkzeuge einsetzbar und besitzen gegenüber der Temperaturbeständigkeit des konventionellen Vergusswerkstoffs von ca. 100 °C Vorteile. Beispielsweise liegt die Temperaturbeständigkeit für HNBR bei ca. 150 °C und für FKM bei ca. 200 °C.

Mit den somit hergestellten Schleifwerkzeugen wurden Untersuchungen auf einer stationären Seilschleifmaschine durchgeführt. Als Referenz wurde ein handelsübliches Seilschleifwerkzeug mit einer Gummierung auf Basis eines Acrylnitrilbutadien-Kautschuks (NBR) verwendet. Zur Vergleichbarkeit wurden alle drei Seile beim selben Hersteller mit den gleichen Schleifsegmenten gefertigt. Als Schleifsegmente kommen dabei gelötete Diamantsegmente zum Einsatz. Da diese bereits erprobt sind und für die Fertigung eines Werkzeugs ca. 500 Segmente benötigt werden, ist eine effiziente Untersuchung des Einflusses des Gummierungswerkstoffs auf das Verschleißverhalten möglich. Da es sich um neuartige Werkstoffe handelt, wurde der Herstellprozess jeweils iterativ auf die jeweilige Gummierungsmischung eingestellt.

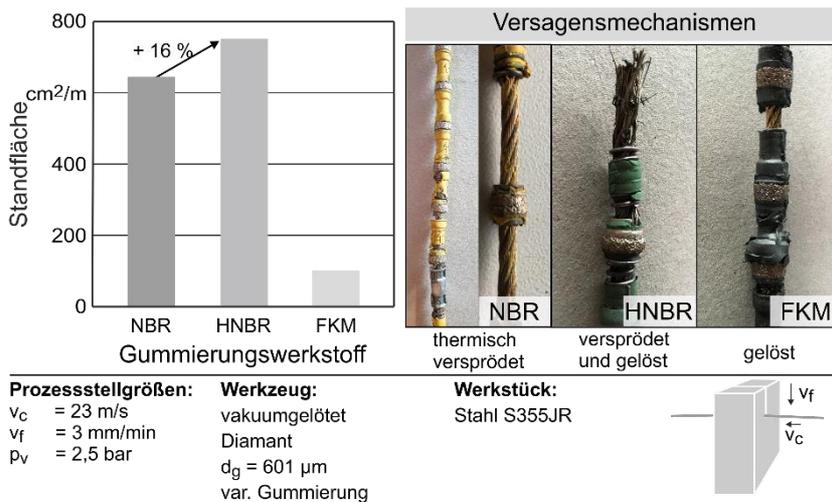


Abbildung 2: Versagensmechanismen und Standflächenvergleich unterschiedlicher Gummierungswerkstoffe

Anhand der Verschleißuntersuchungen wurden die Hautversagensmechanismen der Gummierung sichtbar. Diese sind zum einen die thermische Versprödung, bedingt durch die hohen Prozesstemperaturen und zum anderen die unzureichende Gummierungshaftung zum Trägerseil und den Schleifsegmenten. Eine zu geringe Haftung des Gummierungsverbunds wird nicht nur durch die Haftung des Gummierungswerkstoffs selbst auf dem Stahl verursacht. Auch die Fließfähigkeit des Werkstoffs im Herstellprozess des Werkzeugs ist entscheidend. Im Fall des Referenzwerkstoffs ist erkennbar, dass dieser tief in die Litzenstruktur des Trägerseils eindringt und somit neben der chemischen Anhaftung eine mechanische Verklammerung beider Komponenten erzeugt. Durch die höhere Temperaturbeständigkeit des HNBR-Kautschuks besitzt dieser eine höhere Viskosität bei der Verarbeitung. Dadurch fließt der Werkstoff nicht vollständig in die Litzenstruktur des Trägerseils und haftet nur oberflächlich an. Aufgrund der hohen Biegebelastung im

Werkzeugeinsatz an der Schnittstelle zwischen Trägerseil und Gummierung kommt es deshalb aufgrund geringerer mechanischer Verklammerung zum früheren Ablösen der Gummierung und somit zum Standzeitende des Werkzeugs.

Abbildung 1 rechts zeigt die Werkzeuge jeweils zum Standflächenende. Dies ist erreicht, wenn die Schleifsegmente auf dem Trägerseil nicht mehr gehalten werden und sich im Prozess aufschieben. Dadurch wird das Trägerseil freigelegt, es kommt zum Verhaken beim Werkzeugeintritt und damit zum sofortigen Riss des Werkzeugs. Beim NBR-Werkzeug (Referenz) ist überwiegend thermischer Verschleiß durch Versprödung der Gummierung und Rissbildung sichtbar. Da am Standflächenende das Trägerseil noch mit Gummierungsresten versehen ist, ist die Gummierungshaftung hier als vollständig gegeben zu betrachten. Somit tritt hier ausschließlich thermisch bedingte Versprödung auf, die Rissbildung und Abplatzen der Gummierung bedingt. Im Gegensatz dazu löst sich die temperaturbeständige FKM-Gummierung sehr früh vollständig vom Trägerseil, obwohl es hier zu keiner Versprödung oder anderen thermischen Verschleißerscheinungen gekommen ist. Das Werkzeug mit HNBR-Gummierung zeigt sowohl thermischen Verschleiß als auch einen Verlust der Gummierungshaftung am Standzeitende. Durch ein besseres Verhältnis beider Eigenschaften im Gegensatz zur Referenz lässt sich so bereits eine Standflächenerhöhung von 16 % erzielen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP3: Im weiteren Vorgehen des Arbeitspakets ist eine weitere iterative Optimierung des Gummierungswerkstoffs geplant. Dabei wird in direkter Zusammenarbeit mit dem Hersteller der Gummierung und dem Hersteller des Seilschleifwerkzeugs überprüft, welchen Einfluss die Einsatzvorbereitung auf die Gummierungshaftung besitzt. Durch den Einsatz eines geeigneten Haftvermittlers, bestehend aus ein oder zwei Komponenten, lässt sich die Anbindung an das Trägerseil erhöhen. Darüber hinaus wird die Verarbeitungstemperatur des HNBR-Werkstoffs erhöht, um dessen Fließfähigkeit zu verbessern.

Zur Optimierung der Schleifsegmente wurden hybride Prototypenperlen gefertigt, die unterschiedliche metallische Bindungsanteile und drei verschiedenen Kornkonzentrationen aufweisen. Beide Stellgrößen haben einen direkten Einfluss auf den Bindungszusammenhalt. Diese werden in anschließenden Untersuchungen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit untersucht.

AP4: Es werden Prototypenseile mit hybriden Schleifsegmenten und neuer Vergussmasse gefertigt. Diese werden hinsichtlich des Einsatz- und Verschleißverhaltens konventionellen Seilschleifwerkzeugen gegenübergestellt.

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.

B. Denkena, A. Krödel, C. Heller (2019): Innovatives Seilschleifen mit Selbstschärfeeffekt, Forum – Schneidwerkzeug- und Schleiftechnik, 32 Nr. 3, S. 96-97.

B. Denkena, A. Krödel, J. Harnes, C. Heller (2019): Trockenes Seilschleifen von Stahl mittels innovativer Schleifwerkzeugkonzepte, Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren, Vulkan Verlag, Eingereicht und angenommen, Veröffentlichung in 2020.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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

AP3 (Vorversuche): Aktuell werden Versuche zum Schneiden unter Minimierung des Gewichtsverlusts durchgeführt. Im Fokus steht hierbei unter anderem die Frage, ob eine hohe Gratanhftung oder die Erzielung einer möglichst schmalen Schnittfuge zielführend ist. Hierzu erfolgt eine Kategorisierung und Klassifizierung der unterschiedlichen Charakteristiken der Gratanhftung und die Auswirkung auf die Gewichtsabnahme der Proben. Beim Schneiden von Edelstahl zeigt sich bei den 3 mm starken Proben ein Vorteil durch hohe Gratanhftung. Nach jetzigem Stand können über 85% der Schmelze an der Probe gebunden werden. Bei einem 140 mm langem Schnitt entspricht dies einer Gewichtsabnahme von weniger als 0,3 g.

AP4 (Design und Bau der Schneidoptik): Die Fertigung der Bauteile konnte abgeschlossen und mit dem Zusammenbau der Optik begonnen werden (Abbildung 3). Gefertigt wurde neben der Gesamtoptik zunächst der Wechselkopf für das Schneiden mit Einfallswinkel des Laserstrahls von 45° (Abbildung 4a). Der Strahlengang mit 45° -Umlenkung konnte bereits mit einem Laser der Klasse 1 (Pilotlaser) erfolgreich getestet werden.

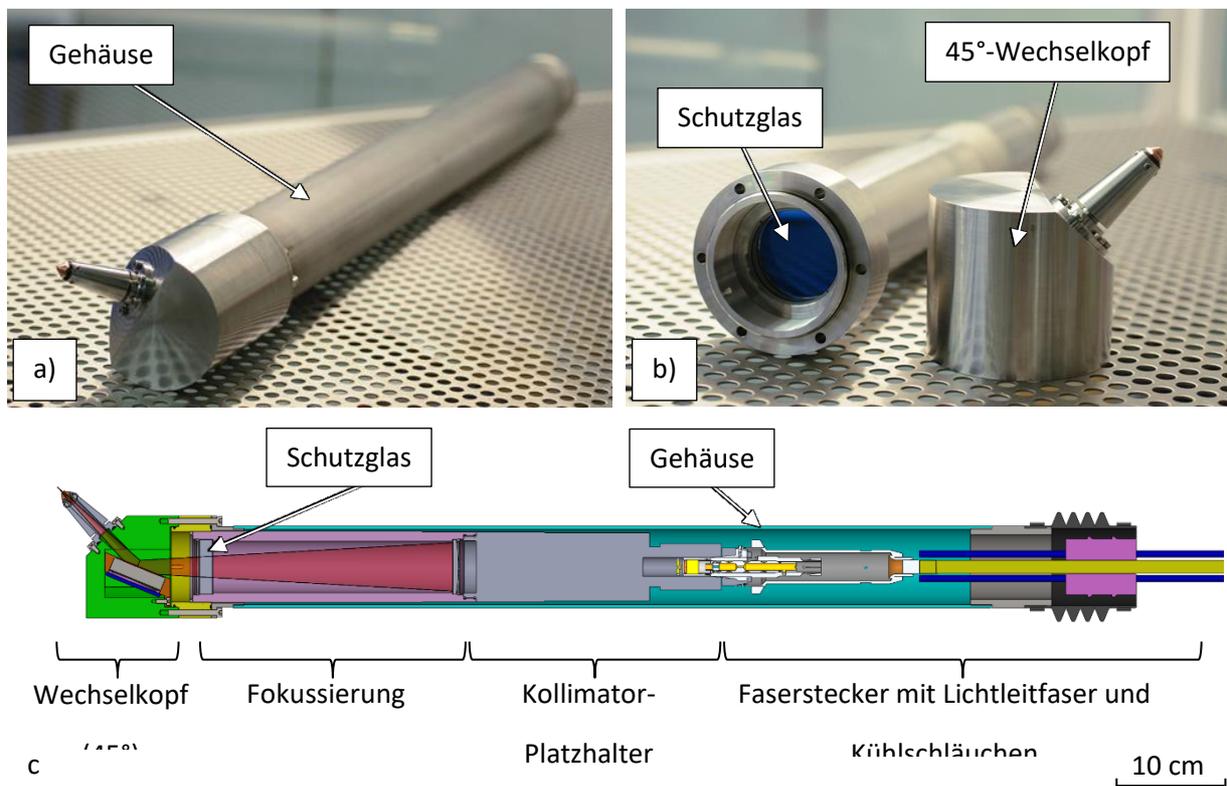


Abbildung 3: a) Fertigestellte Schneidoptik aus AP4, b) mit demontiertem 45° -Wechselkopf, c) CAD-Modell im Schnitt

Der Wechselkopf für das Schneiden bei 0° (Laserstrahl senkrecht zum Werkstück) ist in der KW3/2020 eingetroffen (Abbildung 4b) und steht für die weitere Versuchsdurchführung zur Verfügung.

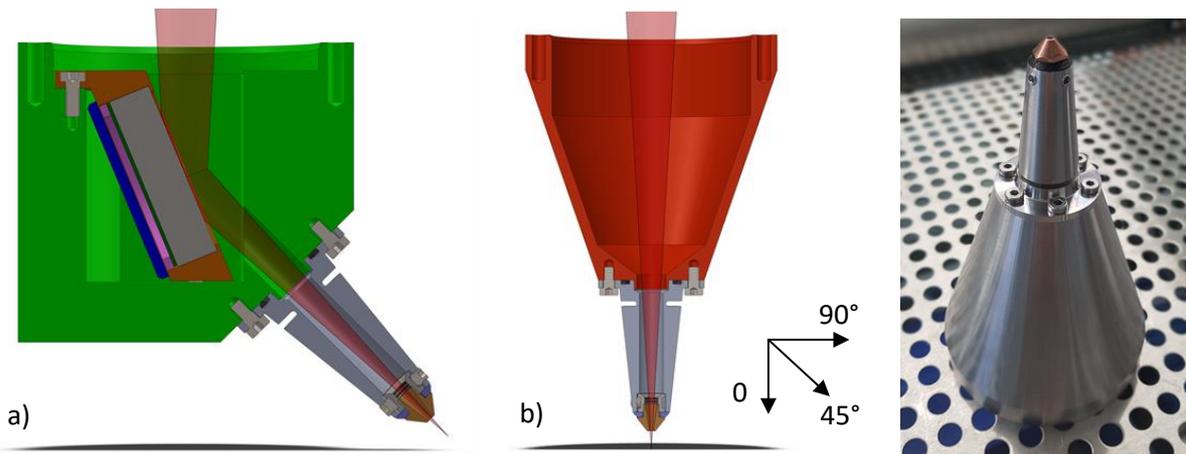


Abbildung 4: a) Wechselkopf für das Schneiden bei 45° Einstrahlwinkel (CAD-Modell), b) Wechselkopf für das Schneiden bei 0° Einstrahlwinkel (CAD-Modell und gefertigtes Bauteil)

AP7 (Emissionsanalyse): Für die Durchführung der Emissionsanalysen von Wasser und Luft werden aktuell die benötigten Messeinrichtungen ausgelegt und angepasst.

AP8 (Sensorsystem): Um die Emissionen des Schneidprozesses differenzierter betrachten zu können, wurden Messungen mit einem Spektrometer durchgeführt. Mit diesen Ergebnissen kann im Weiteren der Arbeitsbereich der einzusetzenden Photodiode durch Filterung gezielt optimiert werden.

4. Geplante Weiterarbeit

AP3 (Vorversuche): Die Versuchsergebnisse aus den Tests mit Edelstahlproben (1.4301) werden auf die Zircaloyproben übertragen, bzw. die Parameter entsprechend angepasst.

AP4 (Design und Bau der Schneidoptik): Nach erfolgreicher Verifizierung der Fokusposition bei geringer Laserleistung an Luft werden erste Versuche unter Wasser im Labormaßstab durchgeführt. Bei positivem Ergebnis der Versuche mit den 0°- und 45°-Wechselköpfen wird der Wechselkopf für 90° Strahlumlenkung in die Fertigung gegeben.

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): Die Durchführung der Emissionsanalysen von Wasser und Luft ist für Januar 2020 angesetzt.

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

Zudem sollen Projektergebnisse bei der Konferenz LANE 2020 (06.-10. September 2020) vorgestellt und in diesem Rahmen in einem CIRP Paper veröffentlicht werden.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9415A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung eines neuartigen, universellen Rohrintrenners für die Demontage von (kontaminierten) Rohrleitungen Teilvorhaben: Entwicklung eines innovativen Schneidwerkzeug-Demonstrators und eines Prüfverfahren inkl. Prüfstand zur experimentellen Untersuchung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 31.07.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 886.209,60 € (inkl. Projektpauschale)
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Gesamtziel im Verbundvorhaben „Entwicklung eines neuartigen, universellen Rohrintrenners für die Demontage von (kontaminierten) Rohrleitungen“ in Kooperation des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH ist die Entwicklung einer innovativen und wettbewerbsfähigeren Rohrintrennvorrichtung mit großem Anwendungsspektrum im Hinblick auf Rohrdurchmesser, Wandstärke und Material. Zusätzlich zum reinen Trennen und Abtransportieren der Leitungen ist ebenfalls vorgesehen eine Möglichkeit für einen vorlaufenden Reinigungsvorgang zu entwickeln. Anfallende Späne oder andere Reststoffe sollen dabei kontinuierlich abgesaugt werden.

Neben der Demontage schwer zugänglicher Rohrleitungen (beispielsweise einbetonierte, nicht auf voller Länge überbohrbare Leitungen) soll die Demontage sowohl an Luft als auch unter Wasser möglich sein. Zum flexiblen Einsatz soll die Bedienung manuell oder fernhantiert möglich sein. Auch das Einbringen in das zu trennende Rohr soll manuell oder fernhantiert erfolgen. Das System ist dabei so konzipiert, dass es nach einer Anwendung dekontaminiert werden kann, um es universell einsetzen zu können. Durch die hohe Flexibilität und die universelle Einsetzbarkeit können viele Arbeitsstunden für die Entwicklung und Konstruktion spezieller Einzellösungen eingespart werden.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP0: Lastenheft und Prozessanalyse – Projektbegleitende Beratung
- AP1: Lastenheft und Prozessanalyse
- AP2: Aufbau eines Versuchstandes nach Bauplan
- AP3: Vorplanung sowie Teilentwicklung eines Trägersystems mit Zustelleinheit sowie des Antriebsystems
- AP4: Experimentelle Versuche (1. Versuchsreihe)
- AP5: Entwicklung, Konstruktion und Herstellung eines neuartigen Trägersystems
- AP6: Praktische Testreihe (2. Versuchsreihe)
- AP7: Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP8: Entwicklung und Konstruktion eines Werkzeug-Demonstrators
- AP9: Zusammenführung der Teilentwicklungen

AP10: Analyse der Messungen, Bewertung und Optimierung/Verifikation und Zertifizierung mittels Praxisversuchen (3. Testreihe)

AP11: Dokumentation

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

Die bisher durchgeführten Arbeiten verliefen in enger Kooperation mit Siempelkamp. In dem angegebenen Berichtszeitraum fanden drei Projekttreffen, jeweils im Wechsel am TMB und bei Siempelkamp, statt. Die Arbeiten in AP1 sind am KIT/TMB weitestgehend abgeschlossen (detaillierte Auswahl der Messtechnik jedoch erst in AP2 möglich). Aktuell laufen die Arbeiten in AP2.

AP1: Lastenheft und Prozessanalyse

In den ersten Monaten wurden am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) zunächst Recherchen zu verbauten Rohren in Kernkraftwerken durchgeführt. Der Fokus lag hierbei auf den eingesetzten Materialien, Wandstärken und Durchmessern von Rohren. Die Recherche hat ergeben, dass in kerntechnischen Anlagen ausnahmslos Stahlrohre mit einer durchschnittlichen Wandstärke von fünf bis 15 mm (im angestrebten Durchmesserbereich von 100 – 500 mm) verwendet werden. Maßgebliche Größe für den Durchmesserbereich ist die Nennweite (DN) von Rohrleitungen. Die Stufung der DN bei Rohrleitungen ist in der DIN EN ISO 6708 genormt. Bevorzugte DIN-Stufen in dem vorgesehenen Durchmesserbereich des Rohrintrenners (100 - 500 mm) sind gemäß der aufgeführten Norm: DN 100, DN 125, DN 150, DN 200, DN250, DN 300, DN 350, DN 350, DN 400, DN 450 und DN 500. Durch die aufgeführten DN-Stufen kann abgeschätzt werden, welche DN in kerntechnischen Anlagen typischerweise verbaut sind.

Ausgehend von den durchgeführten Recherchen bezüglich der Werkstoffe, Durchmesser und Wandstärken verbauter Rohre in Kernkraftwerken wurde das Design und die Abmessungen der Probekörper für die 1. Testreihe bestimmt. Es werden zwei unterschiedliche Ausführungen der Probekörper (freiliegende und einbetonierte Rohre) in AP2 hergestellt. Parallel zur den Probekörperaufbauten wurde eine Recherche zu Trennwerkzeugen, die für die Bearbeitung von Rohrleitungen verwendet werden, durchgeführt sowie Trennwerkzeuge für die 1. Testreihe ausgewählt.

Basierend auf den durchgeführten Recherchen und den festgelegten Randbedingungen der Probekörper wurde ein Konzept für den flexiblen Versuchstand entwickelt. In diesem Zusammenhang wurden Überlegungen zur Auswahl der Messtechnik durchgeführt. Eine detaillierte Auswahl und Bestellung der Messtechnik erfolgt jedoch erst in AP2, da dann die Eingangsgrößen (Kräfte, Abmessungen etc.) bekannt sind.

Abschließend von AP1 wurde ein Lastenheft, in welchem die bisherigen Ergebnisse bzw. Randbedingungen/Hauptinflussparameter für den Demonstrator dokumentiert sind, erstellt. Das Lastenheft wird im Laufe des Projektes aktualisiert und fortgeschrieben.

AP2: Aufbau eines Versuchstandes nach Bauplan

Im ersten Monat von AP2 wurde ein Terminplan für den Aufbau des Versuchstandes festgelegt sowie Überlegungen zur Zustellung und Antrieb des Trennwerkzeuges am Versuchstand gemacht. Zudem wurde begonnen die ersten Komponenten für die Werkzeugaufnahme zu konstruieren. Da AP2 erst im Dezember angefangen hat befinden sich die Arbeiten noch in der Anfangsphase.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP2: Aufbau eines Versuchstandes nach Bauplan

In den folgenden Monaten werden die Komponenten für den Versuchstand gefertigt und ein funktionsfähiger Versuchstand am TMB aufgebaut. Parallel hierzu werden die Probekörper hergestellt und die Trennwerkzeuge für die 1. Versuchsreihe bestellt. Ziel von AP2 ist, dass Ende April 2020 der Versuchstand mit diversen Probekörpern und Trennwerkzeugen fertig ist, um in AP4 die experimentelle Versuchsreihe durchführen zu können.

Abgesehen von den aufgeführten Arbeiten ist ein Besuch des Kernkraftwerks Biblis zusammen mit Siempelkamp vorgesehen. Bei dem Vor-Ort Termin sollen die bisherigen Überlegungen mit Mitarbeitern von RWE bzw. Rückbauunternehmen diskutiert und Anregungen für die weiteren Arbeiten gesammelt werden. Bezüglich eines Termins in Biblis besteht bereits Kontakt mit RWE. Momentan läuft die terminliche Abstimmung.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Lediglich Kurzvorstellung des Projektes auf der Homepage des TMBs unter: https://www.tmb.kit.edu/Forschung_4602.php

Für das Jahr 2020 ist ein Beitrag auf der ICOND (24-26.11 in Aachen) und für das Jahr 2021 bei der Kontec (17-19.03 in Dresden) vorgesehen.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9415B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung eines neuartigen, universellen Rohrintrenners für die Demontage von (kontaminierten) Rohrleitungen. Teilvorhaben: Konzeptionierung, Herstellung und Erprobung eines neuartigen Befestigungs- und Trägersystems, der Zustelleinheit sowie des Antriebs des Rohrintrenners.	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 31.07.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 176.270,80€ (Anteilfinanzierung)
Projektleiter/-in: Dr. Carmen Isabella Krau	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: carmen.krau@siempelkamp-nis.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Gesamtziel im Verbundvorhaben „Entwicklung eines neuartigen, universellen Rohrintrenners für die Demontage von (kontaminierten) Rohrleitungen“ in Kooperation des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH ist die Entwicklung einer innovativen und wettbewerbsfähigeren Rohrintrennvorrichtung mit großem Anwendungsspektrum im Hinblick auf Rohrdurchmesser, Wandstärke und Material. Zusätzlich zum reinen Trennen und Abtransportieren der Leitungen ist ebenfalls vorgesehen eine Möglichkeit für einen vorlaufenden Reinigungsvorgang zu entwickeln. Anfallende Späne oder andere Reststoffe sollen dabei kontinuierlich abgesaugt werden.

Neben der Demontage schwer zugänglicher Rohrleitungen (beispielsweise einbetonierte, nicht auf voller Länge überbohrbare Leitungen) soll die Demontage sowohl an Luft als auch unter Wasser möglich sein. Zum flexiblen Einsatz soll die Bedienung manuell oder fernhantiert möglich sein. Auch das Einbringen in das zu trennende Rohr soll manuell oder fernhantiert erfolgen. Das System ist dabei so konzipiert, dass es nach einer Anwendung dekontaminiert werden kann, um es universell einsetzen zu können. Durch die hohe Flexibilität und die universelle Einsetzbarkeit können viele Arbeitsstunden für die Entwicklung und Konstruktion spezieller Einzellösungen eingespart werden.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP0: Lastenheft und Prozessanalyse – Projektbegleitende Beratung
- AP1: Lastenheft und Prozessanalyse
- AP2: Aufbau eines Versuchstandes nach Bauplan
- AP3: Vorplanung sowie Teilentwicklung eines Trägersystems mit Zustelleinheit sowie des Antriebsystems
- AP4: Experimentelle Versuche (1. Versuchsreihe)
- AP5: Entwicklung, Konstruktion und Herstellung eines neuartigen Trägersystems
- AP6: Praktische Testreihe (2. Versuchsreihe)
- AP7: Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP8: Entwicklung und Konstruktion eines Werkzeug-Demonstrators
- AP9: Zusammenführung der Teilentwicklungen

AP10: Analyse der Messungen, Bewertung und Optimierung/Verifikation und Zertifizierung mittels Praxisversuchen (3. Testreihe)

AP11: Dokumentation

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

Die bisher durchgeführten Arbeiten verliefen in enger Kooperation mit dem Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB). In dem angegebenen Berichtszeitraum fanden drei Projekttreffen, jeweils im Wechsel am TMB und bei Siempelkamp NIS, statt. Die Arbeiten in AP1 sind bei Siempelkamp NIS weitestgehend abgeschlossen (Vervollständigung der Ermittlung der Grenzen beim Einsatz des Rohrintrenners erfolgt in AP3).

AP1: Lastenheft und Prozessanalyse

Zunächst wurden durch Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH die technischen Haupteinflussgrößen bezüglich des Trennens der Rohrleitungen, wie z.B. Werkstoff, Wandstärke, Schwingungsanfälligkeit, zusammengestellt. Es wurden ebenfalls verschiedene Anwendungsfälle, wie Rohrleitungen in Betonstrukturen, in Gebäudeübergängen, unter Wasser oder im Bereich erhöhter Strahlung, sowie der mögliche Abtransport der getrennten Rohrleitung betrachtet. In der Vergangenheit eingesetzte Rohrintrennsysteme weisen je nach Verfahren Defizite z.B. im Bereich der Schnittqualität, der Variabilität bei unterschiedlichen Rohrdurchmessern oder die Absaugung von Spänen und Stäuben auf. Die Systeme wurden in der Regel auf einen bestimmten Anwendungsfall ausgelegt oder decken nur einen kleinen Anwendungsbereich ab. Zudem erfolgt bei einigen Systemen nur der Werkzeugantrieb maschinell, der Vortrieb erfolgt manuell. Eine optimale Schnittleistung ist mit diesen Systemen nicht sicher zu erzielen.

Gegenüber den bisherigen Verfahren sind z.B. eine Verbesserung der Schnittqualität, hohe Standzeiten und hohe Trennleistung Anforderungen an das neue Schneidsystem. Hierzu wird am TMB ein Versuchsstand mit entsprechenden Probekörpern aufgebaut. In der 1. Testreihe sollen Spanverfahren mit bestimmter Schneide (z.B. Fräsen) und unbestimmter Schneide zum Einsatz kommen. Der konzeptionelle Aufbau des Versuchsstandes wurde hinsichtlich des Konstruktionsprinzips mit dem TMB abgestimmt. Die Ergebnisse der Versuche können somit bei den Teilsystemen des Rohrintrenners umgesetzt werden.

Der mögliche Prozessablauf wurde zur detaillierten Untersuchung in Teilprozesse gegliedert. Anschließend wurden für die einzelnen Teilprozesse Varianten zum Vorgehen erarbeitet und diese anschließend analysiert und bewertet. Auf Grundlage dieser Analyse wurden verschiedene Gesamtprozessabläufe festgelegt und einer Bewertung unterzogen.

Ausgehend von den Analysen verschiedener Rohrtrennsysteme sowie weitergehenden konstruktiven Überlegungen wurde ein Anforderungskatalog für das neue Trennsystem erstellt.

Der Rohrintrenner soll im Durchmesserbereich von DN 100 bis DN 500 eingesetzt werden. Kleinere Durchmesserbereiche sind mit dem angestrebten Konstruktionsprinzip schwierig umzusetzen. Aufgrund der Vielzahl der Rohrleitungen, die im Durchmesserbereich bis DN 500 liegen, wird eine Abdeckung über diesen Bereich hinaus nicht betrachtet. Die Festlegung weiterer Randbedingungen und Grenzen zum Einsatzbereich des Gerätes erfolgen in AP3, begleitend zur Vorplanung eines Antriebs- und Trägersystems.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP3: Vorplanung sowie Teilentwicklung eines Trägersystems mit Zustelleinheit sowie des Antriebsystems

Entwürfe des Antriebsystems und des Trägersystems werden in den nächsten Monaten erstellt. Berücksichtigung diverser Funktionen, wie Spülen, Abscheren, die Umsetzung des Abtransports der getrennten Rohrleitung, fließen in die Entwurfsphase mit ein. Die Konstruktion eines Demonstrators unter Berücksichtigung der Einsatzmöglichkeit bei der Versuchsdurchführung am TMB ist ebenfalls Bestandteil des AP3. Parallel zu diesen Aufgaben werden weitere Festlegungen bezüglich der Randbedingungen und Grenzen des Einsatzbereichs des Rohrintrenners getroffen. Ziel von AP3 ist bis Ende Juli 2020 ein System zur Zustellung des Schneidwerkzeugs für eine verschleißarme Bearbeitung von Rohren mit weitgehend gleichbleibender Zustellung, Vorschub- und Schnittgeschwindigkeit zur Verfügung zu haben.

Ein Besuch des Kernkraftwerks Biblis zusammen mit dem TMB ist ebenfalls vorgesehen. Bei dem Vor-Ort Termin sollen die bisherigen Überlegungen mit Mitarbeitern von RWE bzw. Rückbauunternehmen diskutiert werden. Die terminliche Abstimmung erfolgt durch das TMB.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Für das Jahr 2020 ist ein Beitrag auf der ICOND (24-26.11. in Aachen) und für das Jahr 2021 bei der Kontec (17-19.03. in Dresden) geplant.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 31.03.2020	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 126.118,07 €
Projektleiter/-in: Dr. Maarten Becker	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: becker@ius-online.eu

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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 Treffen mit Audio- und Bildschirmübertragung finden statt. Nach der Sommerpause fand am 31.10.2019 das Halbjahrestreffen in Beisein des Projektträgers an der Westfälischen Hochschule, Sitz Bocholt, statt. Alle Projektmitwirkende berichteten über den Stand ihrer Arbeiten und führten teilweise den Fortschritt auch vor. Anschließend wurde das weitere Vorgehen, insbesondere auch bei der Projektverlängerung und der Beantragung eines Folgeprojekts besprochen.

WBS 40.10: Der Zugriff über API Anfragen auf die Wissensmanagement-Plattform ist für die hier angedachte Verwendung nun als vollständig anzusehen und erlaubt die Speicherung semantisch angereicherter Daten wie auch ihre Abfrage, so dass die Voraussetzungen für den automatisierten Datenaustausch und der Auswertung der Daten geschaffen wurden. Das Ziel dieses Tasks ist somit erreicht.

WBS 40.20:

Im Rahmen der Hardwarezusammenstellung und erweiterten Inbetriebnahme des Satellitencomputersystems wurde für den Anschluss des analogen IO Moduls eine eigene Spannungsversorgung in den Hutschienenschrank installiert. Die Erzeugung einer Treiberebene über das Schnittstellensystem des RevPi ist unter Einbindung der IO Module und Definition der Messkanäle erfolgt, so dass Messwerte über das Open Source Python Framework „revpimodio“ abgefragt und weiterverarbeitet werden können. Bei der Gestaltung von Messwerterfassung und der Weiterverarbeitung in Form von Filterung/Aggregation für Wissensmanagement-Plattform haben wir uns entschieden, einen performanten Zwischenspeicher einzurichten, der die Messwerte als Zeitserie in einer Datenbank (InfluxDB) speichert. Damit werden die Daten schnell gespeichert und sind über Methoden der Datenreplikation vor Datenverlust gesichert. Für die Speicherung der aggregierten Daten wurde die Ontologie speziell für die Messwerterfassung erstellt. Diese Ontologie stellt den Zusammenhang zwischen Einheiten, Art des Messwerts, Kalibrierung des Messgeräts, usw. her, um eine ausreichende Datenlage für die Dokumentation des Vorgangs bereitzustellen.

WBS 60.10, 60.20, 60.30: Die Analyse des kerntechnischen Regelwerks und der Genehmigungsvoraussetzungen haben zu einem Schutzkonzept auf 3 Ebenen geführt, das in enger Zusammenarbeit mit RST entwickelt wurde. Dabei werden die Möglichkeit des Eingriffs auf die Bediener Ebene, Instandhaltungs- und Hersteller-/Entwicklerebene übertragen und entsprechend eingegrenzt. Das Rechtesystem sieht für das Bedienpersonal lediglich den Beginn des Dekontvorgangs und halbautomatische Vorgänge wie Kabinenspülen o.ä. vor, während bei der Instandhaltung/Revision zum Beispiel die Kalibrierung von Messgeräten inbegriffen ist. Durch den Hersteller können Systemupgrades mit verbesserten Funktionen oder Fehlerbehebungen eingespielt werden.

WBS 100.10.10, 100.20.10, 100.30.10: Zurzeit findet eine Auswahl typischer Bauteile statt, die in Kernkraftwerken an aktivitätsführenden Medien oder an Bearbeitungsstellen wie

Heißen Werkstätten anzutreffen sind. Das sind zum einen medienführende Leitungen diverser Durchmesser, Ventile, Drosseln, Klappen, Abdeckplatten. Diese Teile werden auf reproduzierbare Basisgeometrien untersucht und den Algorithmen zur automatischen Bahngenerierung gegenübergestellt. An diesen Bauteilen werden typische Hinterschnidungen identifiziert, die sich einer direkten Reinigung entziehen.

WBS 140.50: Eine generelle Strahlenschutzauslegung wurde begonnen, die die Aufkonzentration von radioaktiven Stoffen aus der Dekontamination wie Filter und Zyklone der Wasseraufbereitung berücksichtigen. Es wird eine Positionierung der Bauteile angestrebt, die für sich die Abschirmung begünstigt. Ausgehend von Abschätzungen des Durchsatzes an Bauteilen und mittlere Kontaminationen werden Dosisabschätzungen ausgeführt, um Daten für eine Optimierung zu gewinnen.

WBS 180.10: Aus den vorangegangenen Arbeiten und insbesondere aus dem Feedback der Projektpartner aus angrenzenden Arbeitspaketen hat ein Prozess begonnen, die aufgestellten Arbeitshypothesen und die erarbeiteten Lösungen im Gesamtzusammenhang zu bewerten.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

WBS 40.20: Die erarbeitete Struktur zur Messwerterfassung wird in die Wissensmanagement-Plattform implementiert und mit Messdaten des RevPi-Setups befüllt. Mit gezielten Abfragen werden dann in einem Berichtstemplate der Plattform Dokumente erstellt, die prototypisch die Dokumentation der Dekontamination demonstriert.

WBS 100.10.10, 100.20.10, 100.30.10: Zusammen mit WH und RST werden die Ergebnisse der Untersuchung bzgl. der Erkennung von Hinterschnidungen ausgewertet.

WBS 140.50: Die Quellterme der Dekontkabine werden in Zusammenarbeit mit RST konkretisiert und die Bauform und Positionierung der Aktivität sammelnden Bauteile erörtert und optimiert. Exemplarische Dosisabschätzungen werden die physikalische Grundlage der Auslegung darstellen.

WBS 180.10: Eine abschließende gesamtheitliche Diskussion mit den Projektpartnern, aber auch intern wird das erreichte Ergebnis bewerten und Alternativen oder Verbesserungsvorschläge festhalten, die sich aus der nachträglichen Betrachtung und den Einfluss der Rückwirkungen der anderen Teilprojekte ergeben.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

–

6. Berichte und Veröffentlichungen

Becker, M.; Borrmann, F.; Finkenberg, M.; Demming, Chr.; Horstmann, R.; Nisch, A.: Development of an automated decontamination cabin with documentation based on industry 4.0 features. In: Proceedings of the 51th Annual Meeting on Nuclear Technology (AMNT 2020). Berlin, 2020. — eingereicherter Konferenzbeitrag

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019		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:

- Installation und Kalibrierung der Farbkamera
- Erstellung einer Punktwolke mit RGB-Farbwerten
- Generierung von Roboterbahnen auf Farbflecken
- Installation des Lichtschnittsensors am Endeffektor, Kalibrierung und 3D-Datenaufnahme zur Genauigkeitsverbesserung
- Dynamische Positioniererbewegung zur Beschleunigung des Reinigungsprozesses

Nachfolgend sind in den Abbildungen die Implementierung der Farbdetektion sowie die Scanergebnisse des installierten Lichtschnittsensors zu sehen. Für die Einbringung der Farbe wurde eine 2D-Kamera an das 3D-Kamerasystem installiert. Nach Abstimmung der Farbkamera auf das 3D-Scansystem konnte jeder X-Y-Z- Koordinate ein RGB-Farbwert zugeordnet werden. Durch Anwendung verschiedener Farbfilter lassen sich farblich markierte Stellen auf dem gescannten Objekt segmentieren. Im Anschluss werden aus den segmentierten Flächen, mit der bekannten Schnitttechnik, Roboterbahnen generiert.

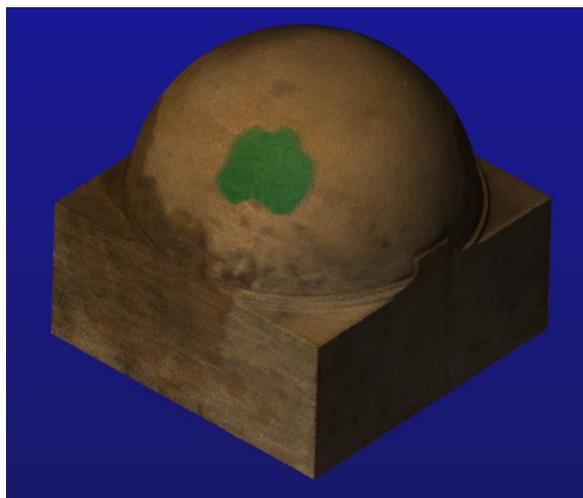


Abbildung 5: Triangulierte Punktwolke mit Farbe

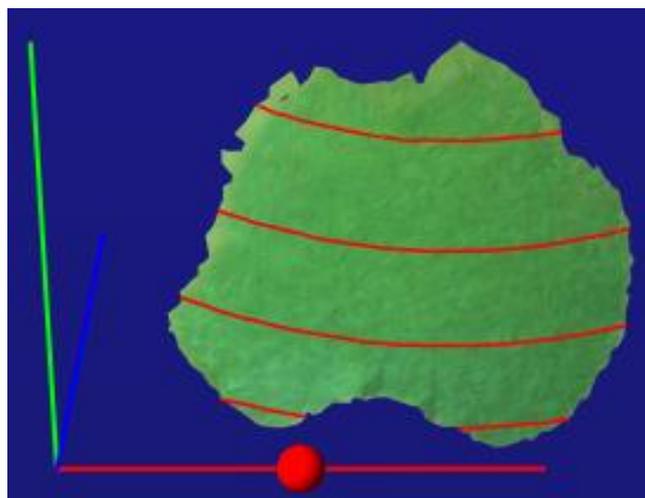


Abbildung 6: Triangulierter Farbfleck mit Reinigungsbahnen

Durch die Einbringung eines zweiten Scansystems, sind Scanobjekte detailreicher zu erfassen. Dafür wurde ein Lichtschnittsensor am Endeffektor des Roboters installiert, damit können besonders dünnwandige Bauteile genau abgebildet werden. Nach der Anpassung der Kollisionsüberwachung und der Simulation wurde ein Kalibrierkörper entworfen, mit dem der Lichtschnittsensor kalibriert werden konnte. Durch die unterschiedlichen Schrägen des Kalibrierkörpers lässt sich sein Koordinatensystem bestimmen und somit auch das Koordinatensystem des Lichtschnittsensors am Roboter. Die 3D-Datenaufnahme kann nun durch die Bewegung des Roboters und dem damit verbundenen Lichtschnittsensor erfolgen.



Abbildung 7: 3D-Datenaufnahme mit Lichtschnittsensor

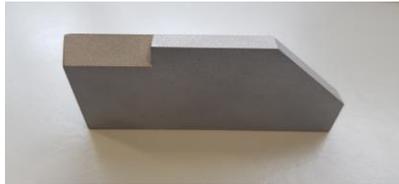


Abbildung 8: Kalibrierkörper

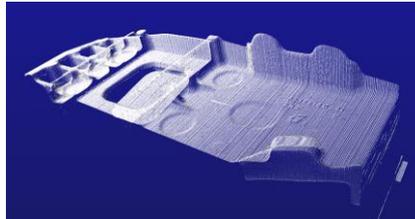


Abbildung 9: Scanergebnis

Um den Reinigungsprozess zu beschleunigen wurde der Bahnplanungsalgorithmus erweitert. Der Positionierer dreht jetzt während der Bearbeitung aktiv das Bauteil. Auf diese Weise entstehen längere Bearbeitungsbahnen, weniger Zwischenwege und somit Zeitersparnisse. Des Weiteren werden die Hochdruckleitungen am Roboter geschont, indem die Bearbeitungsbahn mehr durch den Positionierer erfolgt.



Abbildung 10: Dynamische Positioniererbewegung

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Tätigkeiten werden gemäß dem Plan, der bei der Beantragung zu einer kostenneutralen Verlängerung vorgestellt wurde, weitergeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 31.03.2020	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 weiterhin regelmäßig 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 31.10.2019 hat ein Halbjahresmeeting in den Räumlichkeiten der WH stattgefunden, bei dem in Anwesenheit des Projektträgers der aktuelle Projektstand aller Teilprojekte vorgestellt, diskutiert und teilweise demonstriert wurde. Zudem wurden die nächsten Schritte in den einzelnen Teilprojekte abgestimmt.

WBS 120.10, 120.20

In enger Zusammenarbeit mit der WH sind Reinigungsstrategien für einfache geometrische Grundformen entwickelt worden. Die zusätzlichen Beschränkungen am Roboter, welche sich durch das anzubringende Hochdruckwasserequipment (wie z.B. Wasserwerkzeug, Verschlauchungen und Verrohrungen) ergeben, wurden ermittelt und als Restriktionen in die Reinigungsstrategien eingearbeitet. Hierdurch wird in der späteren Anwendung verhindert, dass Beschädigungen am Roboter und HD-Equipment oder Kollisionen mit dem Werkstück erfolgen können.

WBS 140.10, 140.70

Die Spezifizierung der Einzelkomponenten wurde im zweiten Halbjahr fortgesetzt und weitestgehend abgeschlossen. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung sind noch die Einschleusemimik (Zu-/ und Ausführung des Bauteils in die Kabine) und die Wasseraufbereitung final zu definieren. Hier sind im zweiten Halbjahr 2019 unterschiedliche Ansätze entwickelt worden, welche aktuell hinsichtlich der möglichst universellen Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Gegebenheiten, gerade auch vor dem Hintergrund zumeist begrenzter Raumverhältnisse, bewertet werden.

WBS 140.20, 140.60

In enger Absprache mit iUS ist im Rahmen der Arbeitspakete, die das Schutzkonzept der Anlage betreffen, ein mehrstufiges Bedienschutskonzept entwickelt worden. Dieses Konzept gliedert den Zugang zur Anlage und Teilen der Steuerung in drei Ebenen - der Operator-, Maintenance- und Engineer-Ebene. Jeder Ebene werden unterschiedlich umfangreiche Befugnisse zugewiesen. Der Operator kann beispielsweise die Anlage in Betrieb setzen und im Automatikmodus bedienen, während im Engineering-Modus z.B. Parameter oder Passwörter geändert werden können. Der Zugang zu den jeweiligen Ebenen ist so modelliert, dass die Zugangsbedingungen restriktiver werden, je höher die Ebene ist. So kann der Zugang zur Engineering-Ebene beispielsweise nur durch zwei entsprechend befugte Personen erfolgen.

Sämtliche Bedienschritte, Eingaben und Änderungen (wer, was, wann und warum) sollen zudem über ein Track&Trace-System lückenlos dokumentiert werden. Die zur

Implementierung des Bedienschutzeskonzeptes notwendige Hardware- und Software wurde identifiziert und spezifiziert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

WBS 140.10, 140.70

Das finale Konzept der Einschleusemimik wird festgelegt. Das aktuell favorisierte Wasseraufbereitungsanlagenkonzept wird mit dem Komponentenhersteller auf die Anwendbarkeit im kerntechnischen Bereich hin untersucht. Finale Gespräche hierfür sind für Februar 2020 terminiert. Im Anschluss kann die Kostenschätzung für die Prototypenanlage finalisiert werden.

WBS 140.80

Die Ergebnisse der Modellversuche der WH werden gegen das aktuelle Anlagenkonzept gespiegelt. Die Ergebnisse werden im Projektteam vorgestellt. Sollten die Ergebnisse der Modellversuche Erkenntnisse bringen, die die Modifizierung des aktuellen Konzeptes bedingen, so werden diese entsprechend entwickelt, implementiert und die Modellversuche mit den Modifikationen wiederholt. Mögliche Modifikationen werden hinsichtlich der Auswirkungen auf die Anlagenauslegung und die Kalkulation untersucht und Kostenänderungen gegenüber der Vorkalkulation entsprechend bewertet und in diese implementiert.

WBS 180.20

Die Projektergebnisse werden ausgewertet und die in WBS 140.80 ermittelten Ergebnisse und Verbesserungen bei einer zukünftigen Prototypenanlage implementiert. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse und (Teil-)Ergebnisse werden hinsichtlich der Patentwürdigkeit untersucht. Sofern eine Erfolgsaussicht erkannt wird, werden entsprechende Schutzmaßnahmen eingeleitet. Es wird ein Abschlussbericht für das Teilprojekt erstellt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es besteht weiterhin kein Bezug zu anderen Vorhaben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine weiteren im 2.HJ 2019

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 Neutronenfluenzverteilungen TP:Berechnung der Neutronenfluenzverteilung in reaktornahen Bauteilen und deren Validierung an Experimenten als Basis der Aktivitätsrechnungen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2018 bis 30.11.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 754.606,65 €
Projektleiter/-in: Jörg Konheiser	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: j.konheiser@hzdr.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Verbundvorhabens ist es, eine standardisierte Methode zu entwickeln, die auf Basis der Leistungsgeschichte eines Kernreaktors die anlagenspezifische Aktivierung und deren zeitliche Veränderung für Reaktorkomponenten und reaktornahen 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 Neutronenfluenzrechnungen durchgeführt. Für solche Simulationen mit komplizierten Geometrien ist die Monte-Carlo Methode ein anerkanntes Verfahren. Zum Einsatz im Projekt kommt deshalb hauptsächlich das international viel verwendete Programm MCNP6. Für das Erstellen des Geometriemodells werden Originalkonstruktionsunterlagen verwendet. Als Referenzkraftwerk wird 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 Neutronenfluenzmessungen auf Basis von Aktivierungsfolien im Referenzkraftwerk durchgeführt. Zusätzlich sind Messungen in anderen KKW 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). AP1 (teilweise), 2 und 3 werden in diesem und AP4 und 5 im anderen Teilprojekt bearbeiten.

AP1: Erstellung des Geometriemodells

AP2: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung und deren Spektren

- Neutronenquelltermberechnungen

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

AP3: 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

AP1: Die Modellierung des Reaktorkerns einschließlich des Druckbehälters und der biologischen Abschirmung ist praktisch abgeschlossen. Nur noch in der Konstruktion der Isolierung/Abschirmung sowohl im Bereich des Reaktordeckels als auch oberhalb der inneren biologischen Abschirmung müssen noch Einzelheiten geklärt werden, die aber auf die durchgeführten Rechnungen keinen Einfluss haben. Für dieses Modell wurden Weight-Windows mit Hilfe einer MCNP Funktion erzeugt und energetisch hochaufgelöste Neutronenspektren für Internals und reaktornahe Strukturen auf der Höhe des Kernbereiches berechnet. Für diese Berechnungen wurde eine PIN-by-PIN basierte Neutronenquelltermverteilung benutzt.

AP2: Das Programm für die Aufbereitung der Quellen wurde so erweitert, dass neben einem Zyklus nun die gesamte zeitlich integrale Neutronenquelle aller Zyklen eines Reaktors berechnet werden kann. Für das Referenzkraftwert liegen jetzt sowohl Quellen für den Zyklus vor, in dem die Messungen durchgeführt wurden, als auch Quellen von der gesamten Betriebszeit. Dieser Output-File kann wie beim Einzelzyklus auch direkt von MCNP genutzt werden.

AP3. Während der Revision eines zweiten Referenzkraftwerkes erfolgte das Anbringen von Neutronenfluenzmonitoren an verschiedenen Positionen im Bereich der Hauptumwälzleitung und der Außenwand der biologischen Abschirmung. Zu diesem Zweck wurden 100 Monitorsätze präpariert. Ein Teil der Positionen wurde doppelt mit Monitorsätzen belegt, diese sollen nach einem halben Zyklus bereits wieder entfernt werden. Mit den verantwortlichen Mitarbeitern des Strahlenschutzes von dieser Anlage wurde auch eine mögliche Monitorierung innerhalb der biologischen Abschirmung diskutiert und für die Revision 2020 in Aussicht gestellt.

Die ersten 5 Monitore aus dem Testexperiment im ersten Referenzkraftwerk wurden mittels Gammaskopmetrie ausgemessen. Diese zeigten außerhalb der biologischen Abschirmung praktisch nur eine vom Ta-182 verwertbare Aktivität. Für die etwas weiter innen liegenden Monitore wurden dagegen weitere Nuklide (Zn-65, Co-58, Co-60, Fe-59) indiziert.

4. Geplante Weiterarbeit

- AP1: Berechnung fehlender Neutronenspektren für die Wirkungsquerschnittsberechnungen und Rechnungen zu den Experimenten mit anschließendem Vergleich.
- AP2: Berechnung der Quellen für den Zyklus 2019-2020 der Referenzanlagen
- AP3: Entnahme der bestrahlten Monitore und Neumonitorierung der ersten Referenzanlage; Fortsetzung der Messung der Monitore aus dem Vorexperiment mit Gammaspektrometrie und LSC; Bestimmung der Aktivierung der Monitore aus der zweiten Anlage, die im Januar 2020 entnommen werden sollen, mittels Gammaspektrometrie und evtl. LSC.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

WERREBA Projekt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Präsentation des Projektes auf der Jahrestagung der Fachgruppe Nuklearchemie der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) in Dresden, 25.-27.09.2019

Präsentation des Vorhabens auf dem AAA Meeting in Garching am 02.12.2019

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9409B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWTH Aachen, Institut für Nukleare Entsorgung und Techniktransfer (NET)	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenflussverteilungen“ – 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 AP4 und 5 werden im Teilprojekt 2 der RWTH Aachen, Institut für Nukleare Entsorgung und Techniktransfer (NET) und AP2 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.

- AP1: Erstellung des Geometriemodells
- AP2: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung und deren Spektren
 - 2.1: Neutronenquelltermberechnungen
 - 2.2: Berechnung der Verteilung
- AP3: Neutronenfluenzmessungen zur Modellvalidierung
- AP4: Berechnung der Aktivitätsverteilung
 - 4.1: Erstellung anlagenspezifischer Aktivierungsquerschnittsdateien
 - 4.2: Berechnung der Aktivitätsverteilung in den einzelnen Strukturen
- AP5: 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

AP4.1: Erstellung Datenbibliothek (WQ-BIB: Vor-Konvoi)

Die Grundlage zur Durchführung einer 3D-Aktivierungsberechnung ist die Erstellung einer anlagenspezifischen Aktivierungswirkungsquerschnittsbibliothek (WQ-BIB: Vor-Konvoi), die mit Hilfe der Programmroutine WQ-GEN (Wirkungsquerschnittsgenerator) unter Zugrundelegung bauteilspezifischer Neutronenspektren aus N-Transportberechnungen (AP2) und der aktuellen nuklearen Grunddaten (u.a. ENDF/B) generiert wird. Um die nuklearen Grunddaten auf Vollständigkeit zu prüfen, wurde im letzten Berichtszeitraum ein detaillierter Vergleich zwischen den internationalen Datenbanken ENDF/B-VII.0 und ENDF/B-VII.1 durchgeführt, wobei eine Erweiterung des Nuklid- bzw. Isotopenvektors der WQ-BIB (u.a. Zn-65) erfolgte. Des Weiteren wurde im Rahmen eines weiteren Vergleichs und mit der Kombination der Datenbank ENDF/B-VII.1 mit JEFF/A-3.0 (gekoppelt mit dem Programmsystem SCALE) der Nuklidvektor der WQ-BIB um weitere Radionuklide (u. a. Ni-63) erweitert. Auf dieser Grundlage wurde die Programmroutine WQ-GEN erprobt und damit eine neue WQ-BIB mit den 3 vorliegenden Neutronenspektren (AP2) für die kernnahen Strukturen generiert. Dabei wurde festgestellt, dass sich mit der Implementierung der aktuellen Datenbanken teilweise höheres Aktivitätsinventar ergibt.

AP4.2: Aktivitätsberechnungsroutine

Für die Bestimmung einer 3D-Aktivitätsverteilung wird die Programmroutine AKT-TOOL eingesetzt, welche die Kopplung der N-Fluenzverteilung aus den MCNP-Berechnungen (TP-1) und der generierten WQ-BIB (aus AP4.1) mit dem Aktivierungsprogramm ORIGEN durchführt. Da AKT-TOOL aus mehreren Programmmodulen (WQ-GEN, PTRAC-Mapper) und mehreren Schnittstellen besteht, wurde im Berichtszeitraum die Funktionalität der einzelnen Programmmodule und der Schnittstellen hinsichtlich des Datenaustausches und Programmablaufs untersucht. Dabei wurde an der Entwicklung eines detaillierten Gitternetzes für die Verteilung der N-Fluenz (aus TP1) als Plattform für die hochaufgelöste A-Verteilung gearbeitet. Auch die Funktion des Programmteils PTRAC-Mapper für die Zuordnung der lokalen nuklidspezifischen Materialzusammensetzung zur Neutronenfluenz für die ORIGEN-Berechnungen getestet.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP4.1: Erstellung Datenbibliothek (WQ-BIB: Vor-Konvoi)

Für die anstehende Projektphase ist die Fertigstellung der WQ-BIB für sämtliche Strukturen des MCNP-Modells der gesamten Vor-Konvoi-Anlage geplant. Dies wird unter

Zugrundelegung der Ergebnisse der noch laufenden Spektralberechnungen (TP 1) erfolgen. Nach Abschluss dieser Arbeiten wird eine vollständige und die gesamten Anlagenteile umfassende WQ-Datenbibliothek als Grundlage für die anstehende 3D-Aktivierungs- (AP4) und Strahlungsquelltermberechnungen (AP5) vorliegen.

AP4.2: Aktivitätsberechnungsroutine

Die Simulation der 3D-Aktivitätsverteilung erfolgt mit der Programmroutine AKT-TOOL, für deren Ausführung die in der Bearbeitung befindlichen N-Fluenzberechnungen (TP-1) für ein hochaufgelöstes Gitternetz herangezogen werden. Dabei wird ein erweiterter Funktionstest des Programmpakets zur Anwendung auf das gesamte Aktivierungs- und Bestrahlungsmodell der Anlage durchgeführt. Parallel wird – nach der Analyse und Auswertung der Fluenzverteilung- das PTRAC-Verfahren des MCNP angewandt, um in Verbindung mit der Materialbeschreibung der Bauteile Inputdaten für A-Berechnungen (ORIGEN) in den einzelnen Elementen des gesamten Anlagenmodells zu generieren. Anschließend wird die Aktivierungsberechnungen am Beispiel von 3 vorhandenen Neutronenspektren (aus AP-2) durchgeführt und nach Abschluss auf das gesamte räumlich hoch aufgelöste Anlagenmodell der Vor-Konvoi-Anlage erweitert. Falls die N-Fluenzverteilung aus der MCNP-Berechnung nur für ein 90°-Modell verfügbar sein sollte, wird im Rahmen dieses Arbeitspakets ein numerisches Schnittstellenmodul zur Umwandlung auf ein dreidimensionales 360°-Modell entwickelt und eingesetzt. Parallel wird auch die Entwicklung eines Visualisierungskonzepts zur 3D-Darstellung der Aktivitätsverteilung in Form von Aktivitätsatlas angestrebt.

AP5: Bestimmung der Ortsdosisleistungsverteilung (ODL)

AP5.1: Bestimmung der Verteilung der Strahlungsquellterme

Die energieabhängige Strahlenintensität in jedem Volumenelement des Anlagenmodells ist das Resultat der Zerfallsprozesse und des Transports der Strahlungsemissionen der einzelnen Aktivierungsprodukte, die in der Zerfalls- und Photonendatenbank des Programms ORIGEN (in 18 Energiegruppen) zur Verfügung stehen. Die Grundlage dieser Zerfallsdaten und Photonenspektren und damit der Quellterme sind die internationalen Grunddatenbanken (wie ENDF/B), die die Zerfallsdaten und Emissionslinien jedes einzelnen Nuklids enthalten. Im Rahmen dieses Arbeitspakets wird eine Aktualisierung bzw. Erweiterung dieser Datenbanken für die Kopplung und Anwendung mit ORIGEN unternommen. Dazu werden zwei verschiedene Basisdatenbanken nämlich ENDF/B-VII-1 und JEFF/A-3.0 herangezogen. Des Weiteren wird mit dem Programm ORIGEN unter dem Einsatz der Programmroutine AKT-TOOL und der erstellten Datenbibliotheken die Energieabhängigen Quelltherme in jedem Volumenelement des Gitternetzes des Anlagenmodells generiert. Diese Quellthermdatei ist Ausgangspunkt bzw. Grundlage für Strahlentransportberechnungen mit MCNP in der nächsten Projektphase.

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

Scaramus, A. "Simulation based Characterization of the Source Term and Radiation Field of the Components of a shutdown Reactor", Master-Thesis, RWTH-FH-Aachen, 12/2019

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9412
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V.	
Vorhabenbezeichnung: Wege zum effizienten Rückbau von Reaktorkomponenten und Betonabschirmung: Berechnung des Aktivitätsinventars und deren Validierung an Bohrkernen sowie Mobilitätsuntersuchungen von Radionukliden (WERREBA)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2019 bis 30.06.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.188.478,25 €
Projektleiter/-in: Jörg Konheiser	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: j.konheiser@hzdr.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Vorhabens ist es, genaue Kenntnisse über die entstandenen radioaktiven Nuklide während des Leistungsbetriebs eines Kernkraftwerkes, die zeitliche Veränderung der Aktivität und die daraus resultierende Verteilung der Aktivität in den einzelnen Phasen des Rückbaus zu erhalten. Die Aktivitätsverteilungen sollen dabei anlagenspezifisch für den Reaktordruckbehälter (RDB), dessen Einbauten, den Reaktordeckel und die erste Betonabschirmung (biologisches Schild) bestimmt werden. Dabei liegt der Schwerpunkt besonders auf der experimentellen Bestimmung der Nuklidzusammensetzung, deren Aktivität und chemischen Bindung im Material. Die Untersuchungen werden an Originalmaterial sowohl aus dem RDB als auch aus dem Beton durchgeführt und dienen der Validierung und Verifizierung der durchgeführten Rechnungen.

Im Fall der stark aktivierten Reaktorkomponenten könnten den Behörden und Betreibern Informationen bereitgestellt werden, ob neben der direkten Zerlegung die Methode der Abklinglagerung als eine ökologische und wirtschaftliche Alternative in Betracht kommt. Mit einer möglichen Zwischenlagerung könnten sowohl die endzulagernde aktive Abfallmenge reduziert als auch wertvolle Metalle wieder recycelt werden. Zusätzlich wird die Strahlenbelastung für das Rückbaupersonal verringert.

Im Fall der Betonabschirmung werden Aussagen für einzelne Nuklide zu ihrer möglichen chemischen Mobilität getroffen, welche direkten Einfluss auf die Rückbaustrategie und die Endlagerung hat. Denn für beides ist nicht nur die absolute Menge, sondern auch die strukturelle Einbindung der Radionuklide im Beton wichtig. Diese ist entscheidend für die Stabilität der Bindung der Radionuklide im Beton und damit für den Umfang und die Kinetik möglicher Auflösungen mit Übergang in die wässrige Phase während des Rückbaus und im Endlager. Deshalb soll neben der radiologischen auch eine physiko-chemische Charakterisierung wichtiger Nuklide im Material erfolgen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP1.: Extraktion von Proben aus dem RDB/Reaktordeckel/Betonabschirmung

AP2.: Experimentelle Bestimmung der Aktivitäten

AP3.: Strukturelle Charakterisierung des Radionuklidinventars

AP4.: Berechnung der Neutronenfluss- und Aktivitätsverteilungen

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP1: Aus dem Reaktordeckel wurden von EWN Proben entnommen. Die Probenahmeorte für die Betonbohrkerne im biologischen Schild wurden bei einer gemeinsamen Vorbesprechung von HZDR mit EWN festgelegt.

AP2: Die notwendigen Geräte und Versuchsanordnungen für die radiochemischen Experimente zur Abtrennung der Radionuklide vor der Aktivitätsbestimmung wurden angeschafft und aufgebaut.

AP3: Mit den verantwortlichen Kollegen für die verschiedenen mikroskopischen und spektroskopischen Methoden zur strukturellen Charakterisierung der Betonbohrkerne wurden Vorbesprechungen zur Probenpräparation und zur Durchführung der Messungen geführt.

AP4: Für den Strahlungstransport-Code MCNP 6 wurde ein Geometriemodell erstellt. Während der Bereich nahe der Spaltzone (Reaktordruckbehälter und Einbauten) detailliert modelliert ist, ist die Modellierung der weiter entfernten Bereiche (Oberer Block, Betonabschirmung) noch nicht abgeschlossen. Die Geometriemodelle von TRAMO wurden entsprechend jetzt vorliegenden zusätzlichen Informationen angepasst und erweitert. Auf Basis neuester Kerndaten wurden neue Gruppendatensätze für TRAMO berechnet.

4. Geplante Weiterarbeit

AP1: Die Proben aus dem Reaktordeckel sollen von EWN zum HZDR transportiert werden. Die Betonbohrkerne sollen gebohrt und zum HZDR transportiert werden.

AP2: Die Betonbohrkerne werden in Scheiben zerschnitten, ein Teil der Proben wird entsprechend zerkleinert und für die radiochemischen Analysen vorbereitet. Die enthaltenen Radionuklide werden zum Teil mittels Gammaskopmetrie qualitativ und quantitativ bestimmt, die Alpha- und Betastrahler werden radiochemisch abgetrennt und mittels LSC oder Alphaspektrometrie bestimmt.

AP3: Einige der Betonscheiben werden für mikroskopische und spektroskopische Untersuchungen den Methoden entsprechend vorbereitet und untersucht.

AP4: Zur Validierung des MCNP-Modells werden sowohl reaktordosimetrische Experimente als auch radiochemische Analyseergebnisse von Materialproben aus den RDB bzw. Reaktordeckel nachgerechnet. Zusätzlich werden die Ergebnisse mit bereits vorhandenen von TRAMO und DORT erzielten Werten verglichen. Parallel dazu werden neue TRAMO Rechnungen durchgeführt. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten ist die Erweiterung und Verbesserung des MCNP-Modells im Bereich des Reaktordeckels und des biologischen Schildes.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

EMPRADO Projekt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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/Herstellung 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. Ziellsetzung 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 AP1 erfolgten planmäßig. Das kick-off-Meeting wurde durchgeführt und das 2. Projektmeeting vorbereitet.
- AP2: Freigemessenes Probenmaterial aus dem Reaktorgebäude des KKW Stade und aus dem Bereich des ehemaligen Geb. 99 von VKTA Rossendorf wurde eingehend mineralogisch/chemisch und bauphysikalisch charakterisiert. Hauptbestandteile der Betone sind jeweils Quarzminerale und Zementstein. Die Zemente unterscheiden sich jedoch und sind lt. Recherche heute aufgrund zwischenzeitlicher Neufassung von DIN-Vorschriften nicht mehr in dieser Art verfügbar. Mit einigem Aufwand konnten vergleichbare Sorten ermittelt und beschafft werden, unter deren Verwendung zunächst ca. 50 Prüfkörper für die weiteren Untersuchungen gefertigt wurden.
- AP3: Die Arbeiten wurden begonnen. Diese konzentrierten sich zunächst auf die Entwicklung und Erprobung einer Technologie für die Versuchsdurchführung unter Verwendung von relevanten Radionukliden und auf die Abarbeitung behördlicher Anforderungen bzgl. Strahlenschutz im entsprechenden Anzeigeverfahren nach StrSchV.
- 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 nächste Verbundmeeting ist für Februar 2020 geplant.
- AP2: Die Untersuchungen werden fortgesetzt und sollen Ende des ersten Halbjahres 2020 abgeschlossen werden. Der Nuklidvektor für kontaminierten Beton aus dem Geb. 99 des VKTA soll zeitnah übergeben werden. Die mit den neuen Zementen hergestellten Proben werden nach Aushärtung erneut chemisch/mineralogisch und bauphysikalisch charakterisiert, um die Adäquatheit der Proben für die nachfolgenden Versuche bewerten bzw. sicherstellen zu können.
- AP3: Vorgesehen ist die Durchführung der Untersuchungen zur Ermittlung der Radionuklidverteilung in den Komponenten des Betons für einzelne Radionuklide. Zur Berücksichtigung von Alterungseffekten werden sich diese Untersuchungen über das gesamte Jahr 2020 erstrecken.
- AP4: Geplant sind Abstimmungen mit dem Verbundpartner zu den konkreten Bearbeitungsschritten, zu Probengröße und –volumen sowie zu Aspekten des Strahlenschutzes.
- AP5: Die Untersuchungen beginnen erst im 2. Halbjahr 2020.
- AP6: Die Bearbeitung ist erst im 3. Jahr der Laufzeit vorgesehen.
- AP7: Erste Bearbeitungsschritte sind erst im Jahresverlauf 2020 geplant.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Für das BMBF-Förderprojekt WARREBA, Fkz. 15S9412 wurden Daten aus der Charakterisierung der Betonsorten zur Verfügung gestellt.

6. Berichte und Veröffentlichungen

-keine-

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 Koppelmedium 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: Es wurden im Berichtszeitraum vorbereitende Arbeiten zur Auslegung der Versuchsanlage zur Zerkleinerung von Betonproben durchgeführt. Die Auswertung erfolgte mittels einer Siebklassierung. Auf Basis erster Vorversuche mit vom Konsortium zur Verfügung gestellten Betonproben, wurde ein Konzept zur Auslegung eines entsprechenden Versuchsreaktors sowie der dazugehörigen Peripherie erarbeitet. Randbedingungen waren dabei eine Robustheit gegenüber dem Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit des Prozesswassers und die Abführung des abgetrennten Zementsteins aus dem direkten Behandlungsbereich. Weiterhin erscheint die mechanische Vorzerkleinerung als zielführend, um die Prozesseffizienz zu erhöhen. Auch eine mehrstufige Behandlung/Einsatzmöglichkeit mit hoher und kleiner Pulsenergie wird aktuell geprüft. Als Ergebnis entsteht ein Konzept für einen Teststand für die Behandlung von nicht-kontaminierten Betonproben sowie für radioaktive Betonmuster.
- 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 ist die Fertigstellung der Konstruktion der Versuchsanlage sowie die Abstimmungen mit dem Fraunhofer IKTS zu den Aspekten des Strahlenschutzes für die Versuchsanlage.
- AP3: Die Arbeiten werden planmäßig im nächsten Berichtszeitraum 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: 01.08.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9416A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Gotthard-Franz-Str. 3, Geb. 50.31, 76131 Karlsruhe	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 31.07.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 541.108,80 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. S. Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen muss zur Sicherstellung der Kontaminationsfreiheit der bestehenden Gebäudestruktur eine Oberflächendekontamination aller Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen etwa 150.000 m² Betonoberflächen, die für die Freigabe bis zu einer bestimmten Tiefe gleichmäßig dekontaminiert werden müssen, bevor anschließend die Rückbauarbeiten an der restlichen Gebäudestrukturen ausgeführt werden können. Diese Arbeiten sind mit großen technischen Herausforderungen verbunden, da neben Ecken und Kanten mit zahlreichen geometrischen Wandstrukturen (Störstellen genannt) zu rechnen ist. Die Verwendung von Nadelpistolen, Hammerwerken, Stock- und Schleifgeräten entspricht dem heutigen Stand der Technik. Diese Geräte wurden nicht speziell für die Dekontamination von Gebäudestrukturen entwickelt und haben oftmals keine integrierten Absaugsysteme.

Ziel des Forschungsvorhabens ist daher einen teilautomatisierten Demonstrator für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen zu entwickeln. Der Prototyp wird an einem eigenen Versuchsstand getestet und optimiert. Der Nachweis der Funktionsfähigkeit im realen Umfeld ist vorgesehen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP1: Grundlagenanalyse von Ecken, Kanten, Störstellen sowie Geräteauswahl
- AP2: Konzeption und Aufbau des Versuchsstandes sowie Probekörpererstellung
- AP3: Vorversuche mit ausgewählten Geräten (1. Versuchsreihe)
- AP4: Analyse und Evaluation der Messdaten aus der 1. Versuchsreihe; Vergleich und Bewertung der ausgewählten Geräte
- AP5: Entwicklung und Anfertigung des Versuchsmusters
- AP6: Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP7: Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme des Versuchsmusters
- AP8: Durchführung der experimentellen Versuchsreihe mit dem Versuchsmuster (2. Versuchsreihe) sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Ermittlung des Optimierungspotentials
- AP9: Versuchsmuster-Verbesserung und Durchführung der praktischen Testreihe
- AP10: Versuche vor Ort
- AP11: Dokumentation und Evaluation

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

AP1:

Es wurden typische Störstellen in Kernkraftwerken identifiziert und kategorisiert. Anhand dieser Datensammlung wurde ein Störstellenkatalog erstellt.

Um die Einsatzbedingungen für den Demonstrator abzuschätzen wurden Experteninterviews mit Firmen durchgeführt, die im kerntechnischen Bereich tätig sind. Zudem wurden die Randbedingungen für den Einsatz wie z.B. geforderte Abtragstiefe und deren Genauigkeit bzw. Oberflächenrauigkeit für die Freimessung ermittelt. Im Austausch mit allen Projektbeteiligten wurde eine Auswahl der derzeit eingesetzten, handelsüblichen Geräte für Vorversuche getroffen.

AP2:

In Kooperation mit der HTWG wurden abgestimmt, welche Parameter im Versuchstand gemessen werden. Die Dimensionen sowie die Geometrie der Betonprobekörper wurden festgelegt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP2:

- Einholung von Angeboten und Beschaffung von Materialien sowie Aufbau und Montage des Versuchstandes einschließlich Installation der Messtechnik (Montage der Messdosen, Kalibrierung der Kraftsensoren, Inbetriebnahme der Datenerfassungsgeräte, Fertigung von Sonderbauteilen etc.).
- Herstellung unterschiedlicher Probekörper gemäß dem in AP1 entwickelten Störstellenkatalog (Variation der Betonfestigkeit, Lage der Bewehrung, Ausführung der Störstellen)
- Vorbereitung und Durchführung der Materialprüfung der Probekörper
- Überprüfung der Funktionalität des entwickelten Versuchstandes mittels Testversuchen handelsüblicher Werkzeuge zur Dekontamination (Validierungsexperimente)
- eventuelle Optimierung des Versuchstandes
- Aufbau und Montage des Versuchstandes sowie die Herstellung der Probekörper führt der Werkstatt- MA nach den Konstruktionen des wissenschaftlichen MA aus

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.08.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9416B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hochschule Konstanz – Technik, Wirtschaft und Gestaltung HTWG, Labor für Produktentwicklung und Maschinenkonstruktion, Alfred-Wachtel-Str. 8, 78462 Konstanz	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) <i>Teilvorhaben:</i> Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 31.07.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 309.288,00 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Dr.sc.agr. Kurt Heppler	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: kheppler@htwg-konstanz.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen muss zur Sicherstellung der Kontaminationsfreiheit der bestehenden Gebäudestruktur eine Oberflächendekontamination aller Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberflächen, die für die Freigabe bis zu einer bestimmten Tiefe gleichmäßig dekontaminiert werden müssen, bevor anschließend die Rückbauarbeiten an der restlichen Gebäudestrukturen ausgeführt werden können. Diese Arbeiten sind mit großen technischen Herausforderungen verbunden, da neben Ecken und Kanten mit zahlreichen geometrischen Wandstrukturen (Störstellen genannt) zu rechnen ist. Die Verwendung von Nadelpistolen, Hammerwerken, Stock- und Schleifgeräten entspricht dem heutigen Stand der Technik. Diese Geräte wurden nicht speziell für die Dekontamination von Gebäudestrukturen entwickelt und haben oftmals keine integrierten Absaugsysteme.

Ziel des Forschungsvorhabens ist daher einen teilautomatisierten Demonstrator für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen zu entwickeln. Der Prototyp wird an einem eigenen Versuchsstand getestet und optimiert. Der Nachweis der Funktionsfähigkeit im realen Umfeld ist vorgesehen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP1 (01.08.19-31.12.19): Grundlagenanalyse von Ecken, Kanten, Störstellen sowie Geräteauswahl
- AP2 (01.01.20-31.05.20): Konzeption und Aufbau des Versuchsstandes sowie Probekörpererstellung
- AP3: (01.05.20-31.08.20): Vorversuche mit ausgewählten Geräten (1. Versuchsreihe)
- AP4: (01.06.20-31.10.20): Analyse und Evaluation der Messdaten aus der 1. Versuchsreihe; Vergleich und Bewertung der ausgewählten Geräte
- AP5: (01.10.20-31.03.21): Entwicklung und Anfertigung des Versuchsmusters
- AP6: (01.10.20-31.03.21): Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP7: (01.03.21-30.04.21): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme des Versuchsmusters

- AP8: (01.04.21-31.08.21): Durchführung der experimentellen Versuchsreihe mit dem Versuchsmuster (2. Versuchsreihe) sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Ermittlung des Optimierungspotentials
- AP9: (01.09.21-31.12.21): Versuchsmuster-Verbesserung und Durchführung der praktischen Testreihe
- AP10: (01.01.22-30.04.22): Versuche vor Ort
- AP11: (01.05.22-31.07.22): Dokumentation und Evaluation

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

Im Rahmen des Arbeitspaketes 1 ist ein Störstellenkatalog mit einer Auflistung aller denkbaren Störstellen in der Gebäudestruktur erstellt worden. Diese wurden näher betrachtet und störstellenspezifische Anforderungen an die Maschine abgeleitet.

In einer, im Rahmen dieses Projekts durchgeführten, Masterarbeit mit dem Titel „Untersuchung, Analyse und Vergleich der aktuellen Techniken zum Rückbau von Kernkraftwerken und technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten“ wurde ein umfangreicher Blick auf den Stand der Technik geworfen. Es konnte ein großer Bedarf bei der Weiterentwicklung der Techniken zur Dekontamination und insbesondere der Störstellendekontamination festgestellt werden. Die angefertigte Arbeit spricht eine Empfehlung für einfache und robuste mechanische Wirkprinzipien aus.

Bei einem Projekttreffen bei der Contec GmbH am 19.11.2019 konnten wichtige Erkenntnisse zum aktuellen Stand der Technik in der Oberflächenbearbeitungstechnik gewonnen werden.

Außerdem wurden die Verfahrensprinzipien zur Dekontamination analysiert und ihre Tauglichkeit zur Bearbeitung der Störstellen bewertet. Ergebnis dieser Untersuchung ist die Verwendung eines mechanischen Verfahrensprinzips.

In Absprache mit den Projektpartnern ist eine Liste der gängigen Maschinen zur Störstellendekontamination erstellt worden. Diese bildet eine mögliche Grundlage für die Vorversuche.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Arbeiten des ersten Arbeitspakets konnten wie geplant durchgeführt werden.

Das Arbeitspaket 2 sieht die Konzeption und den Aufbau des Versuchsstands sowie die Probekörpererstellung vor. In dem darauffolgenden Arbeitspaket (3) sollen erste Versuche mit den ausgewählten Geräten (aus Arbeitspaket 1) durchgeführt werden.

Aktuell werden erste CAD-Modelle an der HTWG erstellt und in Kooperation mit den Mitarbeitern des TMB erste Konzepte zur Probekörpererstellung diskutiert.

Nach der Konstruktion des Versuchsstands werden die nötigen Maßnahmen zur Fertigung mit dem TMB abgesprochen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Die erstellte Masterarbeit wurde nicht veröffentlicht. Bei Bedarf kann diese dem BMBF und der GRS zur Verfügung gestellt werden.

Berichtszeitraum: 01.08.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9416C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CONTEC – Maschinenbau & Entwicklungstechnik GmbH, Hauptstraße 146, 57518 Alsdorf	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 31.07.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 541.108,80 €
Projektleiter/-in: Johannes Greb	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: greb@contecgmbh.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen muss zur Sicherstellung der Kontaminationsfreiheit der bestehenden Gebäudestruktur eine Oberflächendekontamination aller Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberflächen, die für die Freigabe bis zu einer bestimmten Tiefe gleichmäßig dekontaminiert werden müssen, bevor anschließend die Rückbauarbeiten an der restlichen Gebäudestrukturen ausgeführt werden können. Diese Arbeiten sind mit großen technischen Herausforderungen verbunden, da neben Ecken und Kanten mit zahlreichen geometrischen Wandstrukturen (Störstellen genannt) zu rechnen ist. Die Verwendung von Nadelpistolen, Hammerwerken, Stock- und Schleifgeräten entspricht dem heutigen Stand der Technik. Diese Geräte wurden nicht speziell für die Dekontamination von Gebäudestrukturen entwickelt und haben oftmals keine integrierten Absaugsysteme. Ziel des Forschungsvorhabens ist daher einen teilautomatisierten Demonstrator für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen zu entwickeln. Der Prototyp wird an einem eigenen Versuchsstand getestet und optimiert. Der Nachweis der Funktionsfähigkeit im realen Umfeld ist vorgesehen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP1: Grundlagenanalyse von Ecken, Kanten, Störstellen sowie Geräteauswahl
- AP2: Konzeption und Aufbau des Versuchsstandes sowie Probekörpererstellung
- AP3: Vorversuche mit ausgewählten Geräten (1. Versuchsreihe)
- AP4: Analyse und Evaluation der Messdaten aus der 1. Versuchsreihe; Vergleich und Bewertung der ausgewählten Geräte
- AP5: Entwicklung und Anfertigung des Versuchsmusters
- AP6: Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP7: Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme des Versuchsmusters
- AP8: Durchführung der experimentellen Versuchsreihe mit dem Versuchsmuster (2. Versuchsreihe) sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Ermittlung des Optimierungspotentials
- AP9: Versuchsmuster-Verbesserung und Durchführung der praktischen Testreihe
- AP10: Versuche vor Ort
- AP11: Dokumentation und Evaluation

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

AP1:

CONTEC ist in dieses Arbeitspaket nicht involviert.

AP2:

CONTEC ist in dieses Arbeitspaket nicht involviert.

Natürlich haben wir an verschiedenen Treffen teilgenommen. In Karlsruhe bei der KIT – TMB und in Alsdorf in unserem Hause.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

CONTEC ist erst Mitte 2020 mit Beginn von AP5 und AP6 involviert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.08.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9416D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: SAT Kerntechnik GmbH, Vangionenstrasse 15, 67547 Worms	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 31.07.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 541.108,80 €
Projektleiter/-in: Stefan Stemmler	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: stemmler@sat-kerntechnik.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen muss zur Sicherstellung der Kontaminationsfreiheit der bestehenden Gebäudestruktur eine Oberflächendekontamination aller Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberflächen, die für die Freigabe bis zu einer bestimmten Tiefe gleichmäßig dekontaminiert werden müssen, bevor anschließend die Rückbauarbeiten an der restlichen Gebäudestrukturen ausgeführt werden können. Diese Arbeiten sind mit großen technischen Herausforderungen verbunden, da neben Ecken und Kanten mit zahlreichen geometrischen Wandstrukturen (Störstellen genannt) zu rechnen ist. Die Verwendung von Nadelpistolen, Hammerwerken, Stock- und Schleifgeräten entspricht dem heutigen Stand der Technik. Diese Geräte wurden nicht speziell für die Dekontamination von Gebäudestrukturen entwickelt und haben oftmals keine integrierten Absaugsysteme. Ziel des Forschungsvorhabens ist daher einen teilautomatisierten Demonstrator für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen zu entwickeln. Der Prototyp wird an einem eigenen Versuchsstand getestet und optimiert. Der Nachweis der Funktionsfähigkeit im realen Umfeld ist vorgesehen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP1: Grundlagenanalyse von Ecken, Kanten, Störstellen sowie Geräteauswahl
- AP2: Konzeption und Aufbau des Versuchsstandes sowie Probekörpererstellung
- AP3: Vorversuche mit ausgewählten Geräten (1. Versuchsreihe)
- AP4: Analyse und Evaluation der Messdaten aus der 1. Versuchsreihe; Vergleich und Bewertung der ausgewählten Geräte
- AP5: Entwicklung und Anfertigung des Versuchsmusters
- AP6: Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP7: Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme des Versuchsmusters
- AP8: Durchführung der experimentellen Versuchsreihe mit dem Versuchsmuster (2. Versuchsreihe) sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Ermittlung des Optimierungspotentials
- AP9: Versuchsmuster-Verbesserung und Durchführung der praktischen Testreihe
- AP10: Versuche vor Ort
- AP11: Dokumentation und Evaluation

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

AP1:

Im Rahmen der Geräteauswahl wurde eine Marktanalyse durchgeführt. Dabei wurden grundsätzliche Technologien unterschieden (Fräsen, Schleifen, Nadlertechnik, Strahlen, Bürsten, Induktion).

Für die einzelnen Technologien wurden repräsentative Geräte und Hersteller herausgesucht und die technischen Daten bzw. die Leistungsdaten gegenübergestellt. Dazu gehört die Antriebsart, mögliche Abtragstiefe, Oberflächengüte und erforderliches Verbrauchsmaterial. Im Austausch mit allen Projektbeteiligten wurden die Geräte bewertet und es wurde eine Auswahl der derzeit eingesetzten, handelsüblichen Geräte für Vorversuche getroffen. Zur Entscheidungsfindung diente auch ein Besuch bei der Firma Contec inklusive einer Praxisvorführung diverser Fräswerkzeuge.

Mit der SAT-internen Organisation wurden mehrere Gesprächsrunden durchgeführt und es wurde Erfahrungsrückfluss aus ähnlich gelagerten Dekontaminationsprojekten eingesammelt. In die Auswertung ist weiterhin ein Versuch mit einem Fräswerkzeug von ASUP eingeflossen. Eine erste Prinzipskizze von Contec zu einem Eckenfräser wurde bewertet und im Team besprochen.

AP2:

Im Rahmen der Teambesprechungen wurde fachlicher Input zur Auslegung des geplanten Versuchsstandes beigesteuert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1:

Fortführung der Marktanalyse und permanente Bewertung von Technologien, Lieferanten und Verfahren. Dies erfolgt im Rahmen von Literatur- bzw. Internetrecherche, durch den Austausch mit Fachfirmen auf Messen (KTG Berlin) und durch den Erfahrungsrückfluss auslaufenden SAT-Rückbauprojekten in Kernkraftwerken und industriellen Anlagen.

AP2 und 3:

Unterstützung bei Auslegung, Aufbau und Optimierung des Versuchsstandes und bei der Durchführung der Versuche. Unter anderem mit dem Schwerpunkt Arbeitssicherheit und Ergonomie.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019		Förderkennzeichen: 15S9418A	
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden			
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt LaDECO: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau			
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2022		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 816.489,05 €	
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Ing Wolfgang Lippmann		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: wolfgang.lippmann@tu-dresden.de	

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Projekt LaDECO sollen umfassende Erkenntnisse zu noch offenen Fragestellungen der laserbasierten Dekontamination gegeben werden, um damit die Kenntnisse zur Prozesssicherheit zu vertiefen und praxistaugliche Verfahren zur Prozesskontrolle zu entwickeln.

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Projektarbeit liegt in der Charakterisierung der entstehenden Sekundäremissionen (Partikel und Gase). In den bisherigen Untersuchungen wurde eine intensive Partikelentstehung während der Laserabtragsprozesse beobachtet. Da diese Partikel -prozessparameterabhängig- nanoskalig und damit lungengängig sein können, soll der Zusammenhang zwischen Prozessparametern und Partikeleigenschaften aufgeklärt werden. Die Arbeiten sollen in einer Modellentwicklung für die Partikelentstehung in Laserabtragsprozessen münden. Darauf soll die sicherheitstechnische Bewertung der Partikelentstehung aufbauen, die eine Auswahl von Systemen zur höchstmöglichen Rückhaltung der Partikel ermöglicht.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- TUD-1: Entwicklung und Aufbau eines Teststandes zur Untersuchung der Partikelentstehung,
Status: in Bearbeitung
- TUD-2: Charakterisierung der freigesetzten Partikel und Auswahl von Systemen zur Rückhaltung,
Status: nicht begonnen
- TUD-3: Durchführung von Versuchen auf radiologisch kontaminierten Oberflächen,
Status: nicht begonnen
- TUD-4: Ausschluss der Schädigung optischer Komponenten durch radioaktive Strahlung,
Status: nicht begonnen
- TUD-9: Erstellung des Abschlussberichtes,
Status: nicht begonnen

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

TUD-1: Für den geplanten Versuchsstand zur Aerosoluntersuchung wurde ein Konzept entwickelt. Dieses Konzept sieht vor, dass zwei verschiedene Lasersysteme (pulsed und continuous wave) für die Untersuchungen der entstehenden Partikel verwendet werden können. Die geplante Messtechnik ermöglicht eine umfassende Charakterisierung der Zu- und Abluft während der Experimente (Druck, Temperatur und relative Feuchte) und eine vollständige Bilanzierung des Volumenstroms. Durch die Einhausung der Proben und des Laser-Arbeitskopfes sind sowohl Untersuchungen zur Partikelfreisetzung im Prozess als auch eine Untersuchung der freigesetzten Partikel aus dem Laser-Arbeitskopf in die Umgebung möglich. Als Laser-Arbeitsköpfe werden, die im Projekt LaPLUS entwickelten und getesteten Konstruktionen verwendet. Dadurch ist eine Übertragung der Ergebnisse möglich. Der Versuchsstand wird über verschiedene Schnittstellen verfügen, um die Partikel zu charakterisieren und eine Untersuchung der Gasphase durch die TU Bergakademie Freiberg zu ermöglichen.

Die Unterlagen für die Beschaffung des zentralen Partikelspektrometers für den Versuchsstand wurden zusammengestellt und der Beschaffungsprozess eingeleitet.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

TUD-1: Das erarbeitete Konzept wird vollständig in eine 3D-Konstruktion überführt, um Schnittstellen und Kollisionen im Vorfeld ausschließen zu können. Im nächsten Schritt werden alle benötigten Komponenten beschafft und montiert sowie die Messtechnik validiert. Nach erfolgter Inbetriebnahme des Versuchstandes wird eine strömungstechnische Charakterisierung durchgeführt, um die realisierbaren Strömungsgeschwindigkeiten und Volumenströme zu ermitteln. Im Anschluss erfolgt die Charakterisierung des Hintergrund-Partikelspektrums.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

-

6. Berichte und Veröffentlichungen

-

Berichtszeitraum: 01.10.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9418B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminierungstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau (LaDeco)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 617.234,40 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Hartmut Krause	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Hartmut.krause@iwtt.tu-freiberg.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Projekt LaDECO sollen umfassende Erkenntnisse zu noch offenen Fragestellungen der laserbasierten Dekontamination gegeben werden, um damit die Kenntnisse zur Prozesssicherheit zu vertiefen und praxistaugliche Verfahren zur Prozesskontrolle zu entwickeln.

Schwerpunkt der Arbeiten an der TU Bergakademie Freiberg sind die detaillierte Untersuchung und Optimierung der Verbrennung der PCB-haltigen Lackschichten sowie die Entwicklung eines online-Monitoring-Verfahrens für die Überwachung der Verbrennung und die Überprüfung des Lackabtrags von Betonoberflächen.

Im Rahmen der Untersuchungen zur Verbrennung der Lackschichten ist das Schadstoffemissionspotenzial und dessen Zusammenhang mit der Temperatur- und der Verbrennungsmittelzuführung zu bestimmen. Darauf aufbauend soll ein Modell zur thermischen Umsetzung des Lackes und der Partikelentstehung während des Dekontaminationsprozesses erstellt werden, welches als Grundlage für die sicherheitstechnische Bewertung und die Auswahl geeigneter Filtersysteme dient. Diese Untersuchungen werden durch numerische Simulationen unterstützt. Zur Überwachung der vollständigen Verbrennung ist ein online-Monitoring-Verfahren zu entwickeln und in das Dekontaminationssystem zu integrieren. Neben der Verbrennungsüberwachung ist ein bildgebendes Verfahren zu entwickeln, welches die Vollständigkeit des Lackabtrages auf Betonoberflächen nach der Laser-Dekontamination überwachen kann.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP5: Untersuchungen zur thermischen Zersetzung von Lacken mittels berührungsloser Analytik (Status: noch nicht begonnen)
- AP6: Numerische Untersuchungen zur thermischen Zersetzung von Lacken und zum Partikeltransport (Status: noch nicht begonnen)
- AP7: Konzeptionierung und Entwicklung eines Detektionssystems zur Identifizierung von Lackschichten auf Betonflächen (Status: in Bearbeitung)
- AP8: Untersuchung zur Nachweisbarkeit von Lackschichten und -resten auf Betonflächen (Status: noch nicht begonnen)
- AP9: Erstellung des Abschlussberichts (Status: noch nicht begonnen)

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP7: Ausgehend von der Auswertung der bisherigen Forschungsergebnisse und einer ergänzenden Literaturrecherche zu aktuelle Verfahren zur Lackdetektion und Schichtdickenmessung wurden die Verfahren zusammengetragen und auf ihre Anwendbarkeit für die im Projekt erforderliche Problemstellung zur Detektion von Lackschichten auf Betonoberflächen klassifiziert. Diese wurden den Erkenntnissen aus den vorangegangenen Projekten zum Lackabtrag auf Metalloberflächen gegenübergestellt. Daraus bestätigte sich im Prinzip der im Projektantrag gewählte Ansatz eines thermographischen Verfahrens. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden gegenwärtig die erforderlichen Parameter für die Thermographie eingegrenzt (Wellenlängenbereich, erforderliche Sensitivität der Bildsensoren etc.).

4. Geplante Weiterarbeit

AP7: Es ist die Fortführung der Literaturrecherche zur Anwendung der Thermographie oder alternativer optischer Analysemethoden zur Detektion von Lacken auf Betonoberflächen vorgesehen. Es erfolgt eine Verifizierung der bisherigen Vorversuche zu Metalloberflächen und deren Versuchsanordnungen mit den Anordnungen, welche sich im Rahmen der Literaturrecherche gefunden wurden. Es erfolgt weiterhin eine detaillierte Bewertung der Ergebnisse der Literaturrecherche und der Vorversuche zur Konzipierung eines geeigneten berührungslosen und bildgebenden Analyseverfahrens, welches im Detail untersucht und optimiert wird. Dabei ist insbesondere die Notwendigkeit zur Integration in den Arbeitskopf zu berücksichtigen. Aufbauend auf den Ergebnissen wird ein Versuchstand zur thermografischen Analyse des Lackabtrags entwickelt und aufgebaut.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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:

AP1 *Rechnergestützte Berechnung von optimalen Verpackungslösungen anhand bereits abgeschlossener oder geplanter Abfallkampagnen und Identifizierung optimaler Algorithmen und deren Parameter*

Es werden Verpackungsplanungen für 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.

AP2 *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 verglichen. Für den Fall, dass die Einsparungen bezogen auf die manuelle Verpackungsermittlung den Aufwand für die numerische Optimierung nicht rechtfertigen, wird das Vorhaben mit diesem Arbeitspunkt abgeschlossen.

AP3 Berechnung von Verpackungslösungen für noch nicht erfolgte Abfallkampagnen und Identifizierung optimaler Algorithmen und deren Parameter

Es werden Verpackungsplanungen mit größerer Komplexität bzw. ohne vorliegende manuelle Verpackungsplanung mit den Optimierungsalgorithmen erstellt.

Die Ergebnisse des Vorhabens werden in einem Abschlussbericht zusammengestellt.

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

AP1 Die Bearbeitung des Projekts 1 wurde – nach Abschluss – kurzzeitig wieder aufgenommen, es konnten weitere Behälter gespart werden. Die Simulation zur einer weiteren Verpackungsplanung wurde weitestgehend abgeschlossen (Projekt 2). Zur Verpackungsplanung in Projekt 4 wurden die ersten Simulationen durchgeführt und an den Abfallverursacher geschickt. Die Simulation zur Optimierung der Belegung eines Lagers für radioaktive Abfälle behandelt auch die Aspekte des AP3 (komplexe Situation) und ist weit fortgeschritten. Der aktuelle Stand ist wie folgt:

Projekt lfd. Nr.	Projekteigenschaften	Stand
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; nicht betrachtet wurden Bedingungen zur zulässigen Ortsdosisleistung (ODL) in einem Meter Abstand vom Konrad-Container.	Bearbeitung erneut aufgenommen und mittlerweile wieder abgeschlossen. <u>Aktualisiertes Ergebnis</u> 9 Konrad-Container gegenüber der Planung des Abfallverursachers von 78 Konrad-Containern eingespart, wobei hier von gegenüber der Referenzplanung technisch zulässigen, jedoch bei der Referenzplanung wg. Schwierigkeiten nicht umgesetzten Randbedingungen Kredit genommen wurden. (Vormals: Einsparung 1 Konrad-Container)
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	Bearbeitung abgeschlossen, Dokumentation noch ausstehend.

	gesteigert. Das Kriterium der Ortsdosisleistung (ODL) wird hierbei nicht berücksichtigt.	
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, 2 bis 4 wird auch die Ortsdosisleistung (ODL), die sich aus der Überlagerung der Strahlungsfelder verschiedener Abfallgebände ergibt, berücksichtigt.	Bearbeitung noch offen. Datenübernahme abgeschlossen; erste Simulationen (ohne ODL) erfolgt und Optimierungspotenzial für Lagerkonfiguration identifiziert; Modellierung auf ODL erweitert; Validierung der Simulation zur ODL mittels gemessener ODL für tatsächliche Lagerkonfiguration erfolgt; Modellierung des Optimierungsalgorithmus mit ODL begonnen; Validierungsrechnungen abgeschlossen.
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 AP3. Das Kriterium der Ortsdosisleistung (ODL) wird hierbei nicht berücksichtigt.	Bearbeitung noch offen. Datenübernahme erfolgt, erste Simulationen durchgeführt, Ergebnisse mit Abfallverursacher abgestimmt, hierauf aufbauend weitere Simulationen durchgeführt.

AP2 Projekt 1 wurde abgeschlossen, es konnten eine hohe Anzahl von Konrad-Container eingespart werden. Projekt 2 zeigt, dass keine Einsparung möglich ist. Projekt 4 demonstriert eine deutliche Überlegenheit in der Schnelligkeit der Lösungsfindung, zusätzlich zu einer potentiellen Einsparung.

AP3 Projekt 3 behandelt Aspekte des AP3, ebenso wie Projekt 4 (Ermittlung einer Verpackungskonfiguration ohne vorherige Planung des Abfallverursachers).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1 Abschluss der Projekte 2 und 4 bis Ende 1. Quartal 2020, Abschluss des Projektes 3 bis Ende 2. Quartal 2020.

AP2 Konsolidierung und abschließende Bewertung der Ergebnisse zu den Projekten 1, 2 und 4 bis Ende April 2020.

AP3 Abschluss des Projektes 3 im Sinne des AP3. Erstellung des Abschlussberichts.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es besteht kein Bezug zu weiteren Fördervorhaben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

- „Packaging Planning using AI-based Algorithms“, 8th International Conference on Nuclear Decommissioning, 12. – 14.11.2019, Aachen

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 A	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2018 bis 31.07.2020	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 potenziellen 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 (AP1 bis AP8). Der Verbundprojektpartner FZJ-IEK-6 wird im Rahmen des Vorhabens KONEKT Beiträge zu den AP2, 4 sowie 5 bis 8 leisten, die nachfolgend kurz zusammengefasst sind:

- AP2: 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.
- AP4: 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.
- AP5: 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.

- AP6: 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.
- AP7: 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.
- AP8: Koordination des Vorhabens, Ergebnisdokumentation, Erstellung von Halbjahresberichten und Abschlussbericht.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

- AP2: Identifizierung relevanter Wissenslücken für thermodynamischen Daten von Be-Verbindungen und zur Be-Speziation in Grundwässern. Die gesammelten Daten zu Eigenschaften von bestrahltem und unbestrahltem Be wurden in der Entwurfsfassung eines kritischen Reviews „Kenntnisstand zu bestrahltem Be“ zusammengefasst.
- AP4: Die methodischen Aspekte einer Freigabe von dekontaminiertem Be wurden im Hinblick auf die identifizierten Verwertungsoptionen mit Unterstützung der Fa. Brenk Systemplanung als Unterauftragnehmer diskutiert. Dabei zeigte sich, dass insb. Be-10 ein Problem bzgl. der betrachteten Freigabeoptionen darstellt. Die Arbeiten sind weit fortgeschritten, die Ergebnisse liegen in Berichtsform (Entwurfsfassung) vor.
- AP5: Die Literaturrecherche und Analyse von möglichen Dekontaminationsverfahren von bestrahltem Be wurde abgeschlossen und liegt in Berichtsform vor. Strahlenschutzrelevante Aspekte bzgl. des Mehraufwands einer Dekontamination wurden analysiert und diskutiert.
- AP6: Mögliche Konditionierungsoptionen für bestrahltes Be oder radioaktive Rückstände nach Dekontamination wurden analysiert und diskutiert. Vor- und Nachteile möglicher Konditionierungsverfahren wurden im Hinblick auf Endlagerbedingungen des Endlagers Konrad betrachtet.

4. Geplante Weiterarbeit

- AP2: Keine weiteren Arbeiten vorgesehen.
- AP4: Zusammenfassung der Dekontaminationsoptionen und methodischen Aspekte einer Freigabe von dekontaminiertem Be im Hinblick auf die identifizierten Verwertungs- und Freigabeoptionen.
- AP5: Zusammenfassung des strahlenschutztechnischen Mehraufwands einer Dekontamination in Vergleich zur direkten Endlagerung von Be-Abfällen.
- AP6: Weitere Diskussion der Anwendbarkeit von Konditionierungsmethoden im Hinblick auf Endlagerbedingungen des Endlagers Konrad.
- AP7: Zusammenfassung und Analyse der gesammelten Daten und Informationen zur Identifizierung relevanter Wissenslücken in Bezug auf Eigenschaften und Verhalten von Be.

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

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 31.07.2020	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 123.358,75 €
Projektleiter/-in: Dr. Stephan Welzel	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: welzel@helmholtz-berlin.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Für die Durchführung der geplanten Arbeiten wurden acht Arbeitspakete (AP1 bis AP8) 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 des Umgangs 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)

Im Bearbeitungszeitraum wurden die Arbeiten an Arbeitspaket 3 abgeschlossen, so dass die notwendigen Informationen bezüglich der Endlagerung von Nuklearberyllium vorliegen. Durch die Bearbeitung des Arbeitspaketes 3 konnte gezeigt werden, dass eine Endlagerung von bestrahltem Beryllium aus deutschen Forschungsreaktoren prinzipiell im Endlager Konrad möglich ist. Es wurden die kritischen Punkte herausgearbeitet, die zu Problemen führen können. Diese Punkte sind der Verguss der Innenbehälter bei ABK II störfallfester Verpackung und die Einhaltung der Garantiewerte. Diese Punkte bedürfen in Zukunft besonderer Aufmerksamkeit.

In Rahmen der Bearbeitung des Arbeitspaketes 5 wurden die anfallenden Kosten zur Endlagerung von bestrahltem Beryllium abgeschätzt. Es wurden alle anfallenden Kosten, soweit dies in einer theoretischen Studie möglich ist, berücksichtigt. So wurden sowohl die Kosten für die Endlagerbehälter als auch für die Verpackung des Berylliums spezifiziert. Ebenso wurde auf die Kosten der eigentlichen Endlagerung, des Transports sowie der Zwischenlagerung von aktiviertem Beryllium eingegangen, die bis zur Einhaltung der Endlagerungsbedingungen notwendig ist. Auch für radiologische Analysen des Berylliums wurde eine Kostenschätzung durchgeführt. Demzufolge ergeben sich geschätzte Kosten in Höhe von ca. 10 Mio. Euro ohne Personalkosten für die Endlagerung des gesamten in Deutschland vorhandenen aktivierten Berylliums aus vier deutschen Forschungsreaktoren.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Bis zum Ende des Forschungsvorhabens muss im Rahmen der Bearbeitung des Arbeitspaketes 5 noch die Kostenschätzung für die möglichen Dekontaminationsarbeiten durchgeführt werden. Das Ergebnis wird den Endlagerkosten gegenübergestellt werden und somit die Wirtschaftlichkeit beider Möglichkeiten verglichen. Hierfür sind Abstimmungen mit dem FZJ notwendig.

Auch die offenen Fragestellungen (Arbeitspaket 7) für mögliche weitere Forschungsvorhaben müssen noch mit dem FZJ abgestimmt und zusammengetragen werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Kein Bezug zu anderen Vorhaben

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9406A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Framatome GmbH (Framatome)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM), Teilprojek: 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 im Strahlenschutzbauwerk von AiNT aufgebaut und getestet. Später wird die Messanlage in einen Stahlblechcontainer integriert. Dies ermöglicht den Einsatz der Messanlage direkt dort, wo die Altabfälle gelagert oder konditioniert werden. Durch die raum aufgelöste stoffliche Analyse von 200-l-Fässern können im Endlagerungsverfahren KONRAD getätigte stoffliche Beschreibungen 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 Vergrößerung des Abfallvolumens 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 und Softwarelösungen 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 Arbeitsprogrammepunkten)

Im Berichtszeitraum wurde seitens Framatome hauptsächlich in den Arbeitspaketen AP1, AP5 und AP9 gearbeitet. Das Detail Engineering (AP1) ist sowohl konstruktiv als auch elektrotechnisch im August 2019 für die stationäre Messanlage erfolgreich abgeschlossen worden. Die entsprechenden und entwickelten Hardwarekomponenten wurden bestellt (Drehtopf Komponenten wie Zirkonium Teller, Verdrehsicherung, PE Platten, PTFE Hülle unter und über dem Fass, Kran). Die Referenzmaterialien und Fässer der Validierungstestmatrix wurden alle bestellt und geliefert. Die entsprechenden Referenzproben wurden am Forschungsreaktor Budapest bestrahlt und analysiert (AP10). Die Ergebnisse liegen vor. Der Aufbau vor Ort bei AINT (AP9) ist fortgeführt worden: Graphit, PE Platten, Kollimatoren incl. $^6\text{Li-C}$ Platten, Zange, Lineareinheit, Stahlkäfig und Gammaabschirmung auf der mobilen Seite sind aufgebaut. Zudem wurde der Schaltschrank transportiert, installiert und mit der Anlage verbunden (Lineareinheit Motor, Zangen Motoren, Drehtopf Motoren, Teleskopzylinder). Das Öffnen und Schließen der Anlage sowie die Steuerung aller Motoren erfolgt durch die Steuerungssoftware und die im Projekt entwickelte GUI. Der Drehtopf (inkl. Teleskopzylinder) und die Zange wurden ebenfalls montiert und elektrotechnisch getestet. Die PTFE Wände wurden angeliefert. Die erste Hälfte wurde aufgebaut. Das untere Bild zeigt den Stand der Anlage Ende Dezember 2019.



Der Neutronengenerator wurde im Oktober 2019 geliefert, aufgebaut und seitdem getestet. Der Kran wurde spezifiziert und bestellt. Zusätzlich wurden die Arbeiten für die Errichtung einer Datenbank weiter fortgeführt (AP5). Ebenso wurden in diesem Arbeitspaket seitens Framatome Neutronentransportrechnungen durchgeführt, um die Neutronentransport-

rechnungen von AINT mit unabhängigen anderen deterministischen Rechenmethoden zu verifizieren. Die Ergebnisse liegen vor und sind vielversprechend.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Im ersten Halbjahr 2020 wird das Arbeitspaket AP9 (i.e. Aufbau) hauptsächlich fortgeführt, um eine Inbetriebnahme der vollständig aufgebauten stationären Messanlage Ende März (ohne Kran) und Ende April (mit Kran) erreichen zu können. Die Validierungsphase sowohl mit nicht radioaktiven (Referenzfässer) und radioaktiven Fässern wird anschließend gestartet. Die Winkelringadapter für die Fässer aus der Testmatrix und andere kleine Komponenten werden noch bestellt. Nach einer ersten Testphase des Neutronengenerators kann im laufenden Testbetrieb der Anlage die Steuerungssoftware getestet und weiterentwickelt werden. Die GUI wird für die Bedienung des Kranes zusätzlich erweitert. Die Datenbank wird vor Ort installiert und getestet. Die Arbeiten im Bereich Neutronentransportrechnung werden mit dem Ziel, die Rechenzeiten zu reduzieren, weitergeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Dr. L. Coquard, Dr. A. Havenith, et al.: **Non-destructive Material Characterization of Radioactive Waste Packages with QUANTOM®**, WMS 2020 Conference, March 8 – 12, 2020, Phoenix, Arizona, USA

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

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

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

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

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

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9406B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM), Teilprojekt: Methoden- und Softwareentwicklung	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.09.2018 bis 31.08.2021	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 621.605 Euro
Projektleiter/-in: Dr. Andreas Havenith	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: havenith@nuclear-training.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Kooperationspartner Framatome GmbH (Framatome), die Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) und das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen (FINT) haben sich zum Ziel gesetzt, die Prompt-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse (PGNAA) zur Charakterisierung radioaktiver Abfälle zu entwickeln und für Ablieferungspflichtige anwendbar zu machen. Die Zielstellung des Projektes ist dem Forschungsfeld „Zerstörungsfreie Deklaration bzw. Analyse von (Alt-)Abfällen“ zuzuordnen. Innerhalb des Projektes wird die Messanlage QUANTOM® für die zerstörungsfreie Überprüfung der stofflichen Beschreibung aufgebaut und erprobt. QUANTOM® wird im Strahlenschutzbauwerk von AiNT aufgebaut und getestet. Später wird die Messanlage in einen Stahlblechcontainer integriert. Dies ermöglicht den Einsatz der Messanlage direkt dort, wo die Altabfälle gelagert oder konditioniert werden. Durch die raum aufgelöste stoffliche Analyse von 200-l-Fässern können im Endlagerungsverfahren KONRAD getätigte stoffliche Beschreibungen 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 Vergrößerung des Abfallvolumens 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 und Softwarelösungen 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 in den Arbeitspaketen AP1 bis AP12 sowie AP14 gearbeitet. Das Detailengineering für die stationäre Messanlage QUANTOM® erfolgte parallel in den Arbeitspaketen zur Konstruktion (AP1) sowie zur nuklearphysikalischen Simulation (AP3) und wurde im August 2019 mit dem Meilenstein M2 abgeschlossen. Im Juni 2019 wurde der Aufbau der stationären Messanlage QUANTOM® begonnen (AP9). Nachdem das Stahluntergestell der Messanlage positioniert und im Boden verschraubt wurde, wurden die Graphitblöcke, die boriierte PE-Abschirmung und die äußere Gamma-Abschirmung aufgebaut. Anfang Oktober wurde der Neutronengenerator zusammen mit dem Hersteller in Betrieb genommen. Ende des Jahres 2019 ist der Aufbau der Messanlage zu 90 % abgeschlossen, wobei zahlreiche Funktionen, wie das Öffnen und Schließen der Messkammer oder der Dreh- und Hubtisch für die Fässer bereits funktionsfähig sind. Die Genehmigung für die Inbetriebnahme der stationären Messanlage im Strahlenschutzbauwerk von AiNT gemäß § 12 StrlSchG (AP4) liegt seit Juni 2019 vor.

Es wurden im Berichtszeitraum weitere nuklearphysikalische Simulationen mit MCNP durchgeführt. Nachdem das Detailengineering abgeschlossen ist, haben diese Simulationsrechnungen nicht mehr die Zielstellung optimale Abschirmdicken für die Neutronen- und Gammaabschirmung zu berechnen, sondern fokussieren sich auf die Verifizierung von dem in AP5 entwickelten deterministischen Neutronentransportcode und den Code für die Berechnung von Photopeak-Effizienzen, sowie die Simulation von Neutronenspektren. Diese Neutronenspektren werden benötigt, um die kernphysikalischen Wechselwirkungen bzw. notwendigen Ansprechwahrscheinlichkeiten für die Neutronendetektoren zu berechnen. Die im Projekt entwickelte Neutronentransportmodellierung basiert auf einer SP3-Diffusionsapproximation und einem Finite-Elemente-Programm (FEniCS) zur Lösung der partiellen Differentialgleichungen. Der Solver für das Differentialgleichungssystem wurde implementiert und anhand verschiedener Testfälle verifiziert. Hierbei stieg im Berichtszeitraum die Komplexität der Testfälle kontinuierlich an. Begonnen wurde mit der Neutronentransportsimulation in nur einem Material (Graphit) bis hin zu mehreren Materialien (Graphit, Luft, Beton) und verschiedenen Geometrien, die sich schrittweise der realen Messanlage annähern. Die Ergebnisse der Testfälle sind vielversprechend, zeigen jedoch, dass weitere Verfahren zur Beschleunigung der deterministischen Neutronentransportmodellierung entwickelt werden müssen. Zusammenfassend lag der Schwerpunkt innerhalb der Softwareentwicklung (AP5) im Berichtszeitraum beim Softwaremodul zur Berechnung von Photopeak-Effizienzen, bei der Neutronentransportmodellierung sowie bei der Betriebssoftware zur Anlagensteuerung. Im Dezember 2019 wurde der Meilenstein M12 erreicht, welcher testiert, dass die Software zur Steuerung der Messanlage betriebsbereit ist. Ausstehend sind noch Tests der Betriebssoftware, welche erst nach abgeschlossenem Aufbau erfolgen können. Ebenfalls wurden in AP5 gute Ergebnisse bei der automatisierten Spektrenauswertung erzielt.

Für die durchzuführende experimentelle Validierung sind im Berichtszeitraum zehn Referenzmaterialien eingetroffen. Aus den Referenzmaterialien wurden repräsentative Proben entnommen und zum Department of Nuclear Analysis and Radiography, Centre for Energy Research am Forschungsreaktor in Budapest geschickt. Dort werden die Referenzmaterialien mittels prompter und verzögerter Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse untersucht. Die Ergebnisse werden mit den Messungen mit QUANTOM® verglichen werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im ersten Halbjahr 2020 werden die Arbeitspakete AP2 bis AP14 bearbeitet. Im Januar werden neben den fortlaufenden Entwicklungsarbeiten der Methoden- und Softwareentwicklung insbesondere der Betrieb des Neutronengenerators getestet. Die Inbetriebnahme der vollständig aufgebauten stationären Messanlage wird vermutlich Ende März vollzogen werden können. Vor dem Beginn des regulären Messbetriebs wird eine Sachverständigenprüfung bzgl. der Umsetzung der strahlenschutz- und sicherheitstechnischen Anforderungen durchgeführt werden. Diese Sachverständigenprüfung ist Anfang April geplant. Nachdem der Sachverständige die Einhaltung der strahlenschutz- und sicherheitstechnischen Anforderungen sowie der Genehmigungsauflagen bestätigt hat, wird die Genehmigung zum Betrieb der Messanlage QUANTOM® durch AiNT angetreten und es wird begonnen experimentelle Daten zu erheben. Im laufenden Testbetrieb kann dann die Steuerungssoftware getestet und weiterentwickelt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: **Non-destructive Material Characterization of Radioactive Waste Packages with QUANTOM®**, WM2020 Conference, March 8 – 12, 2020, Phoenix, Arizona, USA

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: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 im Strahlenschutzbauwerk von AiNT aufgebaut und getestet. Später wird die Messanlage in einen Stahlblechcontainer integriert. Dies ermöglicht den Einsatz der Messanlage direkt dort, wo die Altabfälle gelagert oder konditioniert werden. Durch die raum aufgelöste stoffliche Analyse von 200-l-Fässern können im Endlagerungsverfahren KONRAD getätigte stoffliche Beschreibungen 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 Vergrößerung des Abfallvolumens 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 und Softwarelösungen 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, AP8 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. Die relative Kalibrierung der Neutronendetektoren wurde mittlerweile abgeschlossen. 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. Die Messungen des Neutronenflusses und des Neutronenspektrums außerhalb der Anlage QUANTOM (AP8) wurden im Fraunhofer-INT vorbereitet und das Neutronenspektrometer ROSPEC mit Testquellen überprüft.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im ersten Halbjahr 2020 werden die Arbeitspakete AP1 und AP12 weiterbearbeitet. In AP1 wird der stationäre Aufbau von QUANTOM im Strahlenschutzbauwerk von AiNT mitverfolgt. Die Neutronendetektoren werden in den PTFE-Layer der stationären QUANTOM-Anlage eingebaut und getestet (AP12). 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 Neutronenflussmessung außerhalb der stationären Anlage mit dem Neutronenspektrometer ROSPEC wird voraussichtlich erst im 2. Halbjahr 2020 durchgeführt werden, da hierfür der Neutronengenerator von QUANTOM zuerst seine volle Leistung liefern können sollte (AP8).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Dr. Andreas Havenith, Dr. Laurent Coquard et al.: Non-destructive Material Characterization of Radioactive Waste Packages with QUANTOM[®], WM2020 Conference, March 8 – 12, 2020, Phoenix, Arizona, USA

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: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 endlagergerechtem 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 AP1 erfolgten planmäßig. Das zweite Verbundtreffen wurde durchgeführt und das dritte vorbereitet. Zudem fanden zur Konkretisierung der Arbeitsplanung und zur Besprechung von Ergebnissen eine Reihe bilateraler Arbeitstreffen mit dem Projektpartner bzw. mit Nachauftragnehmern statt.
- AP2: Die Arbeiten zu AP2 werden überwiegend durch VKTA Rossendorf als Nachauftragnehmer ausgeführt. Es wurde ein Bericht zur Einsatzhistorie des Graphits übergeben. Im Zuge der Auswahl des für die weitere Bearbeitung an IKTS zu übergebenden radioaktiven Reaktorgraphits wurden Nuklidvektoren bestimmt. Das Übergabeprozedere ist in Abstimmung. Die Übergabe verzögerte sich aber gegenüber der ursprünglichen Planung aus administrativen Gründen.
- AP3: Die Untersuchungen mit den Schwerpunkten thermische Desorption und elektrochemische Dekontamination wurden unter Verwendung von freigemessenem Reaktorgraphit fortgesetzt. Die Untersuchungen zum Desorptionsverhalten im Temperaturbereich bis 1.000 °C lassen nur auf geringfügige Massenänderungen schließen, Ergebnisse bzgl. Analyse der thermisch freigesetzten Fraktion lagen im Berichtszeitraum noch nicht vor. Die Untersuchungen in Zusammenhang mit der elektrochemischen Dekontamination von Graphit zeigten, dass bei der anodischen Oxidation in halbkonzentrierten Säuren auch der Großteil der als Verunreinigung im Graphit vorliegenden chemischen Elemente freigesetzt wird. Bei den freigesetzten Elementen dominierten Eisen, Calcium, Chrom, Nickel, Zink und Molybdän. Elemente der Seltenen Erden, Quecksilber oder Uran wurden nur in Spuren nachgewiesen.
- AP4: Das Arbeitspaket wird durch den Verbundpartner TU-Bergakademie Freiberg, Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, bearbeitet.
- AP5: Die Auslegung und Fertigung der Versuchsanlage zur Trennung der Kohlenstoffisotope mittels Membrandiffusion konnte inzwischen weitgehend abgeschlossen werden. Lieferverzögerungen für Komponenten verhinderten eine Fertigstellung im Berichtszeitraum. Die Arbeiten zur Entwicklung spezifischer Membranen wurden begonnen. Zur Vorbereitung der Untersuchungen zur Trennung der C-Isotope mittels Thermodiffusion und mittels Gaszentrifuge wurden Modellrechnungen zur Auslegung und Betriebsweise der Trennsysteme durchgeführt und eine erste Kalkulation der theoretischen Trennstufenzahlen vorgenommen. Die Analysen weisen darauf hin, dass die Trennarbeit wesentlich durch die zu erreichende Endaktivität und vor allem durch die Anlagenfahrweise bestimmt wird. Eine dynamische Fahrweise mit kontinuierlicher Gasaufgabe/Gasentnahme am Trennrohr könnte die Trennarbeit gegenüber herkömmlicher statischer Fahrweise um einen Faktor ca. 25 verringern. Mit der Vorbereitung der Untersuchungen zur C-14-An-/Abreicherung mittels elektrochemischer Membrantrennprozesse und mittels biochemischer Stoffwechselketten wurde begonnen.
- AP6: Eine Bearbeitung war im Berichtszeitraum nicht vorgesehen.
- AP7: Auf Grundlage der bisher ermittelten Daten zu Nuklidvektor des Reaktorgraphits und zur chemischen Zusammensetzung wurde eine Bewertung hinsichtlich der Kompatibilität zu den stofflichen Anforderungen an endzulagernde Rückstände vorgenommen (NAN-Leistung). Neben dem freisetzbaren C-14-Anteil könnten auch

Quecksilber und Phosphor als weitere kritische Inhaltsstoffe von Reaktorgraphit Bedeutung erlangen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

- AP1: Das nächste Verbundmeeting war für Dezember 2019 geplant, musste aber aus organisatorischen Gründen auf Februar 2020 verschoben werden. Weitere Abstimmungen mit den Partnern sind quartalsweise geplant.
- AP2: Der Bezug von aktivierten/kontaminierten Reaktorgraphit für die Fortsetzung der Untersuchungen zu AP3 musste auf das erste Halbjahr 2020 verschoben werden.
- AP3: Während die Untersuchungen an freigemessenem Reaktorgraphit weitgehend abgeschlossen sind, können die entsprechenden Untersuchungen an radioaktivem Graphit erst im Jahresverlauf 2020 aufgenommen werden.
- AP4: Geplant sind Abstimmungen mit dem Verbundpartner zu den konkreten Bearbeitungsschritten.
- AP5: Die Untersuchungen zur Isotopentrennung werden fortgesetzt.
- AP6: Die Bearbeitung ist erst im 3. Jahr der Laufzeit vorgesehen.
- AP7: Die Bewertungen bzgl. der einzusetzenden Verfahren und der anzuwendenden Prozessschritte wird fortgesetzt.

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: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 AP320 (**Untersuchung** des Konversionsverhaltens). Im Einzelnen wurden folgende Arbeiten durchgeführt.

AP320:

Die kinetischen Untersuchungen wurden hinsichtlich Konversion des Reaktorgraphits mit Wasserstoff weitergeführt. Für die Ermittlung der Onset-Temperatur der Graphitkonversion mit Wasserstoff wurde die Graphitprobe im TG/DSC-System bei einer apparatetechnisch maximal möglichen Wasserstoffkonzentration bis 30 Vol.-% (Rest Inertgas) bis 1400 °C linear aufgeheizt. Für die Reaktion mit Wasserstoff konnte unter den angewendeten Versuchsbedingungen keine Umsetzung beobachtet werden. Zur Überprüfung des Partialdruckeinflusses wurden Untersuchungen mit 100 Vol.-% Wasserstoff ergänzt. Dafür wurde eine Druckthermowaage (Fa. DMT) ertüchtigt und analoge Untersuchungen bis zu einer apparatetechnisch maximal möglichen Temperatur von 1100 °C durchgeführt. Bei der Verwendung von 100 Vol.-% Wasserstoff ergibt sich eine Onset-Temperatur von 1005 °C (s. Abb. 1).

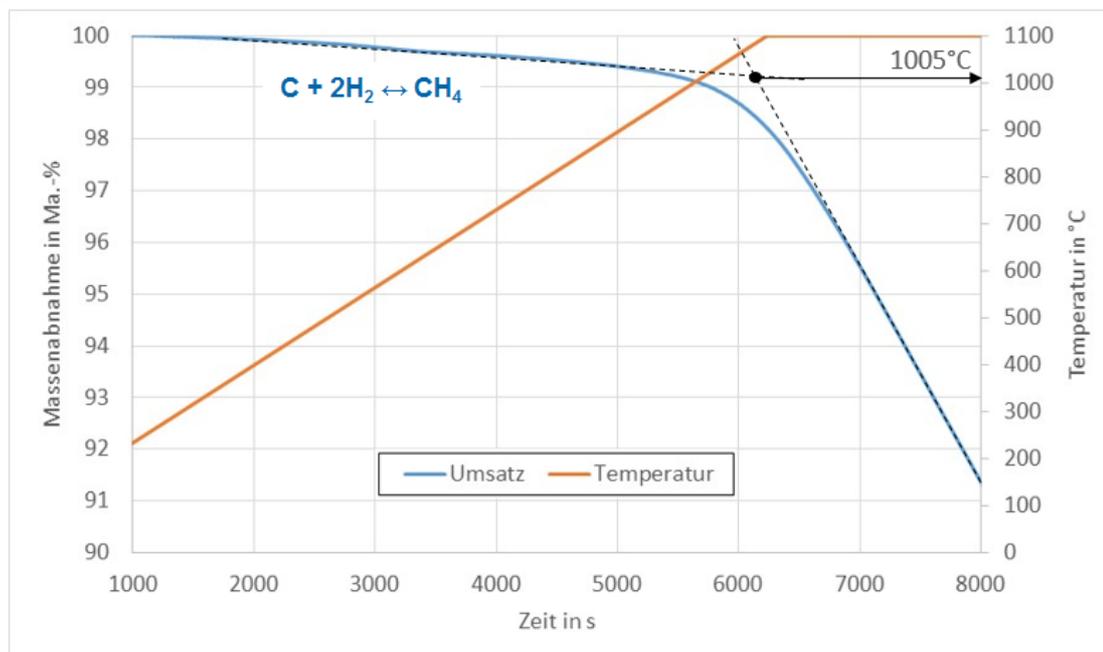


Abb. 1. Umsetzung von Reaktorgraphit im Wasserstoff unter Aufheizbedingungen (10 K/min)

In der Druckthermowaage wurde zusätzlich der Einfluss des Absolutdruckes auf die Umsetzung des Reaktorgraphits mit Wasserstoff untersucht. Unterhalb von 1000 °C konnte bis zu einem Druck von 30 bar (100 Vol.-% Wasserstoff) kein Umsatz festgestellt werden. Die Versuche bei höheren Temperaturen stehen noch aus.

Die Ermittlung der kinetischen Parameter entsprechend Arrhenius-Ansatz erfolgte isotherm bei Temperaturen von 1000 – 1050 °C in einem Gasstrom von 100 Vol.-% Wasserstoff.

- Um die Entwicklung der Porenstruktur mit dem Vergasungsfortschritt zu beschreiben, wurden in einer mit CO₂ (100 Vol.-%) zwangsdurchströmten Probenschüttung bei 1075 °C Vergasungsrückstände mit sieben verschiedenen Umsätzen (15, 20, 30, 40, 50, 60 und 70 %) hergestellt und die spezifische Oberfläche (nach der BET-Methode) ermittelt. Zusätzlich wurde die Veränderung der Partikelgrößenverteilung analysiert.

Die spezifische Oberfläche der teilvergasten Graphitproben verändern sich mit steigendem Kohlenstoffumsatz nur unwesentlich (alle Proben im Bereich von 11 – 14 m²/g). Mit zunehmendem Vergasungsfortschritt erhöht sich der Anteil großer Partikel, d. h. die Vergasung von kleineren Partikeln ist (erwartungsgemäß) schneller abgeschlossen. Damit ist davon auszugehen, dass die Vergasungsreaktion hauptsächlich an der äußeren Partikeloberfläche stattfindet.

- Um die strukturelle Beeinflussung des Kohlenstoffumsatzes zu beschreiben, wurden zu den drei bereits getesteten Partikelmodellen (Volumetric-Model (VM), Grain-Model (GM) und Random-Pore-Model (RPM)) vier weitere Modelle recherchiert und getestet: Cylindrical-Symmetry-Model (CSM), Jander-Equation (JE), Avrami-Erofeev-Model (AEM) und Prout-Tompkins-Model (PTM). Die Beschreibung des experimentell ermittelten Kohlenstoff-Umsatzes 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, obwohl die Analyse von Oberfläche und Korngröße in Abhängigkeit vom Kohlenstoffumsatz auf die Anwendbarkeit des Grain-Modells hinweisen. Eine Klärung ist noch offen.

4. Geplante Weiterarbeit

Die geplanten Weiterarbeiten betreffen die Weiterführung des AP320 (Untersuchung des Konversionsverhaltens) und den Beginn des AP330 und AP340 (Identifikation geeigneter Konversionsprozesse und Entwicklung der Prozesskette für die Vergasung). Die nächsten Schritte umfassen im Detail:

- weiterführende kinetische Untersuchungen zum Einfluss des Reaktionsmittels im DMT/TGA-System (H₂, O₂ und H₂O) sowie des Partialdruckeinflusses,
- weitere Recherche zum Thema „Partikelmodell“,
- Anpassung des Vergasungsverfahrens auf Grund der experimentell ermittelten Prozessparameter.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es sind keine Änderungen gegenüber der Antragsstellung abzusehen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Im Projekt sind derzeit keine Berichte und Veröffentlichungen entstanden.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 routine-mäßigen 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:

- AP1 Voruntersuchungen an unbestrahlten Graphitproben
- AP2 Voruntersuchungen an bestrahlten Reaktorgraphitproben
- AP3 Herstellung von Referenz-Probenmaterial für die AMS-Messungen
- AP4 Entwicklung des Gassystems mit Elemental Analyzer und Verbindung zur AMS-Anlage

- AP5 Test des Gassystems zur Verdünnung über die Charakterisierung der bestrahlten Referenz-Graphitproben
- AP6 Betrachtung und Bewertung von möglichen Entsorgungspfaden vor dem Hintergrund der Ergebnisse
- AP7 Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen
- AP8 Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf mögliche Freigabepfade und die Charakterisierung radioaktiver Abfälle
- AP9 Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse
- AP10 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)

AP6: Betrachtung und Bewertung von möglichen Entsorgungspfaden vor dem Hintergrund der Ergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens wurde das „20th International Nuclear Graphite Specialist Meeting“ (INGSM 2019) besucht, das vom 16. bis 19. September in Brügge, Belgien stattgefunden hat. Für die Veranstaltung wurde ein Abstract sowie eine Präsentation über das Vorhaben mit den bisherigen Ergebnissen und den Zielen vorbereitet.

Die Reise nach Brügge wurde anstelle der ursprünglich im Arbeitsplan vorgesehenen nationalen Konferenz (ICOND) durchgeführt, da das INGS 2019 von für das Vorhaben von größerer fachlicher Relevanz ist und darüber hinaus die Teilnahme an der ICOND bereits über andere Vorhaben der GRS abgedeckt wurde.

Bezogen auf die Reisekosten hat sich durch diese Änderung kein Mehraufwand ergeben.

Auf Basis der gewonnenen Informationen wurden Entsorgungspfade im internationalen Umfeld betrachtet. Insbesondere wurden Beiträge der IAEA (GRAPA Projekt), sowie aus Belgien und Rumänien ausgewertet.

AP7: Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen

Im Rahmen des Arbeitspaketes 7 hat ein Austausch mit dem belgischen Kernforschungszentrum SCK•CEN stattgefunden, in dem über die Möglichkeiten gesprochen wurde, Graphitproben aus einem belgischen Forschungsreaktor zu charakterisieren. Gespräche über den genauen Ablauf des Messprogramms sowie den Transport der Proben sollen im Jahr 2020 stattfinden.

AP8: Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf mögliche Freigabepfade und die Charakterisierung radioaktiver Abfälle

Vorbereitende Arbeiten zur späteren Beurteilung von Messergebnissen wurden fortgesetzt. Es wurde auf Basis der Informationen aus dem INGS 2019 internationale Strategien zum Umgang mit Graphit aus der Stilllegung betrachtet.

AP9: Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse

Arbeiten zur Veröffentlichung der Ergebnisse sind im Berichtszeitraum nicht angefallen.

AP10: Verbundkoordination und Projektmanagement

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

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die begonnenen Arbeiten zur Betrachtung und Bewertung möglicher Entsorgungspfade im nationalen und internationalen Umfeld werden fortgesetzt (hauptsächlich AP6). Ferner wird mit Arbeiten zur Akquise von *Graphitproben* aus kerntechnischen Anlagen gerechnet, sowie der Durchführung der ersten AMS-Messungen. Hieraus ergeben sich Messprogramm und weitere Vorgehensweisen (AP7). Sobald Messergebnisse aus den geplanten AMS-Messungen vorliegen, kann mit der Aufarbeitung für kommende Präsentationen des Vorhabens begonnen werden.

Die Arbeiten zur Verbundkoordination werden fortgesetzt (AP10).

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 wurde über Ziele und *Teilergebnisse* des Vorhabens berichtet. Im Rahmen eines Beitrages zum „20th International Nuclear Graphite Specialist Meeting“ (INGSM 2019), das vom 16. bis 19. September in Brügge, Belgien stattgefunden hat, wurde das Vorhaben mit den ersten Ergebnissen und weiteren Zielen vorgestellt.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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:

- AP1 Voruntersuchungen an unbestrahlten Graphitproben
- AP2 Voruntersuchungen an bestrahlten Reaktorgraphitproben
- AP3 Herstellung von Referenz-Probenmaterial für die AMS-Messungen
- AP4 Entwicklung des Gassystems mit Elemental Analyzer und Verbindung zur AMS-Anlage

- AP5 Test des Gassystems zur Verdünnung über die Charakterisierung der bestrahlten Referenz-Graphitproben
- AP6 Betrachtung und Bewertung von möglichen Entsorgungspfaden vor dem Hintergrund der Ergebnisse
- AP7 Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen
- AP8 Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf mögliche Freigabepfade und die Charakterisierung radioaktiver Abfälle
- AP9 Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse
- AP10 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)

Die Arbeiten zu Voruntersuchungen an unbestrahlten und bestrahlten Graphitproben (AP1 und 2) wurden im Berichtszeitraum fortgesetzt. Hierzu wurden Röntgenfluoreszenzanalysen (XRF) und Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)-Messungen vorbereitet. Im AP3 wurden erste Bestrahlungen von Reaktorgraphitproben mit dem Ziel der Entwicklung von Referenzprobenmaterial vorgenommen. Die Arbeiten zum Aufbau des Gassystems wurden fortgesetzt (AP4), sind aber noch nicht abgeschlossen. Dementsprechend verzögert sich der Beginn von AP5 (Test des Gassystems), es ist aber zu erwarten, dass das den Terminplan insgesamt nicht verzögert. Erste Teilergebnisse wurden für die Präsentation auf Konferenzen und nachfolgende peer-review-Publikation aufbereitet (AP9).

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 HIAS 2019 (Heavy Ion Accelerator Symposia on Fundamental and Applied Science) wurden Teilergebnisse zum Aufbau des Gassystems in einem Beitrag („Ion beam techniques for nuclear waste management“) verwendet. Der Konferenzbeitrag wurde für eine *peer reviewed* Veröffentlichung im *European Physical Journal / EPJ Web of Conferences* aufbereitet und eingereicht.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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:

- AP1. Informationsgewinnung
- AP2. Entwicklung eines Voxel-Modells
- AP3. Modellentwicklung - Auswertung Gamma-spektrometrischer Messungen und Nuklididentifikation
- AP4. Ableitung der Matrixzusammensetzung
- AP5. Simulation der Messdaten
- AP6. Iterative Optimierung
- AP7. Korrelation von Messdaten und sonstigen Informationen
- AP8. Realisation eines einfach zu bedienenden Auswerteprogramms
- AP9. Verifikation durch Messungen mit Kalibrationsobjekten bekannter Matrixzusammensetzung und bekannter Aktivitätsverteilung
- AP10. Diskussion der Ergebnisse und Abschluss des Projekts mit einem ausführlichen Bericht

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Organisatorisch: Im Berichtszeitraum konnte die Stelle eines wissenschaftlichen Mitarbeiters erfolgreich zum 01.08.2019 besetzt werden. Die Ausschreibung und Vergabe eines Unterauftrags zur Entwicklung, Implementierung, Test und Optimierung von Software-Routinen zum schnellen und effektiven Speichern, Schreiben und Laden von Voxel-Daten innerhalb der vorhandene RCM Steuer- und Auswertesoftware „MGS“ sowie Unterstützung bei der allgemeinen Umsetzung von Softwarelösungen innerhalb des Programms „MGS“ wurde abgeschlossen, so dass zu Beginn des nächsten Berichtszeitraum die Vergabe erfolgen wird.

Projektbezogen: Mit Einstellung des Projektmitarbeiters wurde mit der Bearbeitung des AP1, der Zusammenstellung der für eine Auswertung relevanten Informationen begonnen sowie Literaturrecherchen betrieben. Für die Bestimmung der Matrixzusammensetzung

wurden erste Algorithmen (AP4) und zur Simulation der Messdaten (AP5) einfache Programmmodule entwickelt. Mit diesen Arbeiten sollte zunächst die prinzipielle Realisierbarkeit des zu entwickelnden Verfahrens demonstriert werden. Des Weiteren wurde der Inhalt auszuschreibenden Unteraufträge weiter konkretisiert. In den Arbeiten wurde von einer konstanten zweidimensionalen Dichte der Matrix ausgegangen, deren Komplexität anschließend schrittweise hin zu realistischeren Dichteverteilungen erhöht.

Ein Charakteristikum der bayes'schen Verfahren ist die Notwendigkeit eines Modells zur Vorhersage der beobachteten Messgrößen (aktuell werden hier nur die Zählraten der Emissions- bzw. der Transmissionsmessungen berücksichtigt) in Abhängigkeit der sichtbaren und unsichtbaren Parameter. Zu diesen Parametern zählen z. B. die Matrixzusammensetzung, die Geometrie des Messaufbaus und des zu untersuchenden Abfallgebundes. Als erster Schritt wurde das Verfahren für einen zweidimensionalen Schnitt mit Punktquelle demonstriert. Hierzu wurde ein analytisches Modell einer Punktquelle in einer homogenen Matrix abgeleitet. Die Kollimatorfunktion wurde mittels eines von uns entwickelten Codes im ROOT-Framework, einem modularen wissenschaftlichen Software Toolkit, bestimmt. Dies erlaubte eine erste Demonstration des Verfahrens unter vereinfachten Randbedingungen. Zur Implementierung der Algorithmen wurde auf das Paket PyMC3 in Python zurückgegriffen. Als Paket zur statistischen Programmierung ermöglicht es eine einfache Definition von A-priori Verteilungen, des analytischen Modells und stellt verschiedene Algorithmen, wie dem Metropolis-Hastings Verfahren, zur Bestimmung der Posteriori-Verteilung zur Verfügung. Im Rahmen dieser Entwicklung konnte gezeigt werden, dass die von uns formulierte Idee es erlaubt die Aktivitätsverteilung zu rekonstruieren und entsprechende Konfidenzintervalle anzugeben. Es ist natürlich zu beachten, dass bislang von einer homogenen Matrix und einer zweidimensionalen Geometrie ausgegangen wurde. Die Erweiterungen für beliebige Dichteverteilungen sowie die Einbeziehung der dritten Dimension sind derzeit in Arbeit.

Den bisherigen Untersuchungen liegt eine einzelne Punktquelle zu Grunde. Dieser idealisierte Fall tritt in der Realität nur in den wenigsten Fällen ein. Daher wurde das analytische Modell derart überarbeitet, dass es nunmehr auch zweidimensionale Aktivitätsverteilungen berücksichtigen kann. Die Vorhersage der Messung wird dabei von Matrizen mit Gewichten gemäß dem analytischen Punktmodell beschrieben. Die Herausforderung hierbei liegt in der großen Anzahl der Aktivitätspunkte und der ebenso hohen Dimensionalität des Parameterraumes. Dies wurde als wesentliche Herausforderung für die Konvergenz des Metropolis-Hastings-Algorithmus identifiziert. Mit ersten Untersuchungen zur Lösung dieses Problems, wie die Anwendung von Regularisierungsmethoden oder Reparametrisierung der Aktivitätsverteilungen wurde begonnen.

Das analytische Modell wird auch zur Generierung von Testdaten des segmentierten Gamma Scans eingesetzt und dient aktuell auch als Basis für die Entwicklung eines Simulationsmoduls für die Digitale Rotations-Radiographie (DRR). Der Hauptunterschied zwischen den beiden Einsatzgebieten des Modells für die Emissions – und die Transmissionsmessung liegt in der Position des jeweiligen Quellterms. Im segmentierten Gamma Scanning liegen diese im Bereich des Abfallgebundes, bei der DRR liegt diese (in Form einer externen) Quelle außerhalb des Gebundes und kann meist als punktförmig angenommen werden.

Für die Simulation der DRR wurde ein erstes einfaches Voxelmodell entwickelt, um beliebige (inhomogene) Zusammensetzungen des Abfallgebundes modellieren zu können. Hierzu wurde ein sog. Box-Intersect-Algorithmus implementiert, der es erlaubt die Absorptionskoeffizienten entlang eines Pfades zu integrieren. Die Entwicklung zielt hier

nicht auf den fertigen Algorithmus ab, sondern dient zum einen als Basis für statistische Auswertung und zum anderen zur exakten Ableitung der Anforderungen für das finale Softwaremodul „Voxelmodell“, bei dem neben der Funktionalität auch eine effiziente Nutzung des Speichers und performante Berechnungen erforderlich sind.

4. Geplante Weiterarbeit

Im Berichtszeitraum wurde das Verfahren unter vereinfachten Modellannahmen demonstriert. Die Weiterarbeit konzentriert sich daher auf die Verallgemeinerung hin zu dreidimensionalen Dichteverteilungen innerhalb des Abfallgebundes, sowie die effiziente Handhabung der hochdimensionalen Probleme bei mehrdimensionalen Aktivitätsverteilungen.

Ganz wesentlich für den Erfolg des Vorhabens ist die Extraktion der Absorptionskoeffizienten aus der DRR. Ein erster Schritt ist Simulation der DRR, mit der im Berichtszeitraum begonnen wurde. Eine detaillierte Untersuchung inklusive des Vergleichs mit Messdaten ist im weiteren Projektverlauf vorgesehen. Zur performanten Handhabung der großen Datenmengen wird im nächsten Berichtszeitraum mit der Entwicklung eines optimierten Voxelmodells, unter Berücksichtigung der abgeleiteten Anforderungen, begonnen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

T. Bücherl, S. Rummel, M. Blaszczyński, Ch. Lierse von Gostomski, „Improvement of Quantification in Non-Destructive Characterization of Radioactive Waste Packages – Introduction to the Ideas of a Currently Started Project“, WM2020, March 8 – 12. 2020, Phoenix, Arizona, USA, akzeptiert.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9417
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Friedrich-Schiller-Universität Jena	
Vorhabenbezeichnung: USER2 – Umsetzung von Schwermetall-Landfarming zur nachhaltigen Landschaftsgestaltung und Gewinnung erneuerbarer Energien auf radionuklidbelasteten Flächen: Optimierungsstrategien	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2019 bis 30.06.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 998.354,40 €
Projektleiterin: Prof. Dr. Erika Kothe	E-Mail-Adresse der Projektleiterin: erika.kothe@uni-jena.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Nach einer ersten (in einem Vorgängerprojekt abgeschlossenen) Etablierungsphase soll im vorliegenden Antrag die Möglichkeit einer mikrobiell gestützten Phytostabilisierung zur Erzeugung von Lignocellulose als nachwachsendem Rohstoff auf mit Schwermetallen und Radionukliden (SM/R) belastetem Substrat aus einem ehemaligen Uranbergbau nahe Ronneburg in Ost-Thüringen etabliert werden. Neben Uran werden insbesondere Cäsium und Strontium sowie Thorium und des Weiteren die Lanthanoiden als natürliche Analoga für dreiwertige Actiniden untersucht. Damit können auf den etablierten Testflächen die Untersuchungen zur Nutzung verschiedener Baumarten mit einer Unterpflanzung in naturnahen mehrstöckigen Beständen eingesetzt werden, die wachstumsfördernde Nachhaltigkeit des Auftrags von Rendzina auf einem stark belasteten Substrat unter dem Einfluss der SM/R-Speziation und kolloidalen/nanopartikulären Phasen zu untersuchen. Es erfolgen zudem Erosionsbeobachtungen unter Weiterentwicklung automatisierter Erfassungssysteme sowie Biodiversitätsanalysen im Zusammenhang mit optimiertem Baumwachstum. Die Quantifizierung der Erträge und des SM/R-Transfers in die Pflanze erlaubt die Einordnung der angewandten Strategien zur Aufforstung mit Kurzumtriebsplantagen, die auf andere mit SM/R-kontaminierte Standorte übertragen werden kann.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

In AP1 (Nachhaltigkeit der Bodenzuschläge und Änderung der Effekte mit der Zeit) wird das Baumwachstum und der Effekt aufsteigender, kontaminierter Wässer längerfristig mit dem Einfluss der Inokulation korreliert und Analysen von europäischen Vergleichsstandorten zur Übertragbarkeit der Ergebnisse durchgeführt.

AP2 (Weiterentwicklung und Etablierung einer automatisierten Dokumentation) dokumentiert die Veränderungen mit einem Multiscanner- und LIDAR-System zur digitalen Kartierung von Wachstum und Vitalitätsfaktoren.

AP3 (Stickstofffixierung durch Anpflanzen von Wirtspflanzen) widmet sich stickstofffixierenden Bakterien und der Stickstoffspeziation in Grund- und Porenwässern.

In AP4 (Etablieren einer Bepflanzung auf stark belasteten Standorten) wird Pflanzenwachstum trotz stark belasteter Wässer erreicht werden und reaktiver Transport im Anstrom sowie die Schwermetalltoleranz im Wurzel-Pilzmycel-Bereich untersucht.

AP5 (Kurzumtriebsplantagen auf trockenen und grobkörnigen Standorten) befasst sich mit Endomycorrhizapilzen und ihrer Kombination mit Ektomykorrhiza und Bodenmikroflora.

AP6 (Erosionsschutz durch Unterpflanzung) wird Erosion beobachten und der Schutz durch Einsaat von Gräsern auf den Abtrag wird erfasst.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

(AP1, 4 und 5) Die jährliche Bestimmung der Bodenatmung, Mikrobiologie und Bonitur des Wachstums der Bäume sowie die Bestimmung der Beikräuter und Bodenanalysen ist turnusgemäß erfolgt. Die erste Baumernte auf dem Testfeld Gessenwiese zeigte, dass die Erle am besten wächst, aber nicht von Mykorrhizapilzen und Streptomyceten profitiert. Die Birke dagegen profitiert, während die Weide das schlechteste Wachstum zeigt. Die auf Basis der Boniturdaten errechneten Biomassen korrelierten sehr gut mit den bei der Ernte tatsächlich ermittelten Biomassen. Die Mikrobiomanalysen werden mit dem Proben aus 2019 durchgeführt.

(AP2) Die im November 2019 erfolgte Drohnenbefliegung der Testflächen mit einem Echtzeit-Laserscanningsystem zeigte das größte Höhenwachstum sowie die größte Biomasseproduktion der Erle gegenüber der Weide und Birke auf den mit Rendzina behandelten Flächen (TFR5, TFR5M) auf der Gessenwiese. Auf den Testflächen am Kanigsberg bestätigten sich die Wachstumsvorteile der Erle, unabhängig von der mikrobiellen Inokulation, gegenüber Birke, Weide, Eberesche und Kiefer.

Durch die lasergestützte Datenerhebung der Geländeoberfläche sowie die Ermittlung der Baumhöhen konnte eine deutliche Zeitersparnis gegenüber den herkömmlichen photogrammetrischen Aufnahmen erreicht werden und die folgende Auswertung der Daten deutlich erleichtert werden. Die Erhöhung der Auflösung der gewonnenen Daten ermöglicht nun die Erfassung der individuellen baumspezifischen Wachstumsparameter, welche mit den gewonnenen *in situ* Boniturdaten validiert werden.

(AP3) Stickstofffixierung durch Actinorhiza konnte durch Auffinden der Assoziation untermauert werden.

(AP6) Auf den trockenen und nährstoffarmen Testflächen Erosionsplot und Plateuplot am Kanigsberg zeigt sich ein deutlicher Etablierungsvorteil der mehrjährigen *Festuca rubra* gegenüber *Secale multicaule* als Unterpflanzung.

4. Geplante Weiterarbeit

AP1: Inokulation zu Beginn jeder Wachstumsperiode, Bodenatmung, Mikrobiomanalysen, Bonitur des Wachstums der Bäume, Bestimmung der Beikräuter und Bodenanalysen.

AP2: Anwendung des multispektralen Analysesystems, Validierung der automatisierten Erfassung des Pflanzenwachstums und der Pflanzenvitalität, Aufbau eines LIDAR-Analysesystems und Validierung der automatisierten Erfassung des Bodenverlagerung.

AP3: Untersuchung der Verbreitung von Actinorhiza, Vergleich mit freilebenden Stickstofffixierern, Nachweis der Stickstofffixierungsraten in Mikrokosmen, Verbindung der Mykorrhiza und der Actinorhiza in Mesokosmen und Validierung der Stickstofffixierung.

AP4: Entwicklung der Bodenbildung durch Inokulation, Etablierung nachhaltiger Mykorrhizierung mit schwermetalltoleranten Pilzen, Mikrokosmen zu molekularer Schwermetalltoleranzmechanismen, Hydrogeochemie und Kolloid-/Nanopartikelcharakterisierung, SM/R-Speziation und Entwicklung eines reaktiven Transportmodells.

AP5: Wechselwirkungen zwischen Ekto- und Endomycorrhiza, Co-Kulturen, Mikrobiomanalysen, Wasser- und Nährstoffaustausch durch Untersuchung stabiler Isotope.

AP6: Schwermetallgehalte der geernteten Lignocellulose, (wiederholte) Einsatz von *F. rubra*, Entwicklung des Forstroggens, LIDAR-Untersuchungen sowie Chlorophyll-fluoreszenzmessung und Größenbestimmung der Bepflanzungen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Das Projekt basiert auf durch das BMBF geförderten, abgeschlossenen Projekten (Baubio, Phytorest, Strahlung und Umwelt II, Teilprojekt C, FKZ: 02NUK015C; Transaqua, FKZ: 02NUK030C; USER, FKZ: 15S9194).

6. Berichte und Veröffentlichungen

Abdulsalam O, Kothe E, Krause K. 2019. The parasitic-neutral-mutual continuum of plant-fungal interactions. *J Appl Bot Food Qual* 92, 246-249.

Bonrath A (2019) Characterization of potential *hyd8* overexpressing transformants from the ectomycorrhizal fungus *Tricholoma vaccinum*. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Brangsch H (2019) Genetic modification of heavy metal resistant *Streptomyces* sp. strains. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Burow K, Grawunder A, Harpke M, Pietschmann S, Ehrhardt R, Wagner L, Voigt K, Merten D, Büchel G, Kothe E. 2019. Microbiomes in an acidic rock-water cave system. *FEMS Microbiol Lett* 366, fnz167.

Höllner M (2019) Differential gene expression study of *Streptomyces* under nickel and thiostrepton stress. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Kirtzel J, Ueberschaar N, Deckert-Gaudig T, Krause K, Deckert V, Gadd GM, Kothe E. 2019. Organic acids, siderophores, enzymes and mechanical pressure for black slate bioweathering with the basidiomycete *Schizophyllum commune*. *Environ Microbiol*, doi: 10.1111/1462-2920.14749. [Epub ahead of print]

Korkmaz RÜ (2019) Function and biosynthesis of sesquiterpenes from *Schizophyllum commune*. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Nettemann S (2019): Nanoparticle Tracking Fluorescence Analysis (Fluo-NTA): a new method to differentiate between inorganic nanoparticles and biocolloids? Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Mirgorodsky D, Pietschmann S, Fürst D, Riefenstahl M, Schäfer T, Kothe E (2019). Combining bioremediation methods with bioenergy production at field scale. WISSYM 2019 – International Mining Symposium, Chemnitz.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	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 herzuleiten und Dritten zur Verfügung zu stellen. So wird z. B. durch Kombination der Risikoaspekte in der Projekt- und Prozessplanung mit den Mechanismen für eine gute menschliche Zuverlässigkeit eine robuste Planung der Prozesse erreicht. Die Teilziele des Vorhabens sind demgemäß:

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

Durch die präventiv ausgerichtete Unterstützung von Planungsprozessen und Arbeitsvorbereitungen mit zugehörigen Schnittstellen wird zusätzlich ein kosteneffektiver Rückbau unterstützt, indem Umplanungsaufwände bzw. Nacharbeiten minimiert werden. Mit dem Vorhaben steht den deutschen Anlagen und deren Betreibern und Dienstleistern ein Verfahren und Instrument zur Verfügung, um Planungsaspekte im Rückbau zuverlässiger zu gestalten sowie Rückbauarbeiten zuverlässiger, sicherer und auch kosteneffizienter durchzuführen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP1: Kommunikation, Koordination, Dokumentation & Veröffentlichung.

AP2.1: Modellbildung und Aufbau des Virtuellen Raumes (VS).

AP3.1: Auswahl kritischer Rückbautätigkeiten.

AP4.1: Nutzung der HRA-Methode „CAHR“ für den Planungsprozess.

AP5: Integration der erarbeiteten Ergebnisse.

AP6: Validierung.

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

Bezüglich der Analyse kritischer Rückbautätigkeiten (**AP3.1**) wurden, analog zu der technischen Risikobewertung des TMB, exemplarisch sechs unterschiedliche Maschinen aus verschiedenen Verfahrensklassen bewertet. Dazu zählen: Hydraulikbagger, Trennschleifer, Diamantseilsäge, Bohrmaschine, Plasmaschneider und Wasser-Abrasiv-Schneider.

Die qualitative Risikobewertung der einzelnen Maschinen basiert hauptsächlich auf Literaturrecherche, wie zum Beispiel Gefährdungsbeurteilungen und Betriebsanweisungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedien (BAuA) oder der Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM).

Auf Basis der qualitativen Analyse wurde in Excel ein Ablaufschema nach der Taxonomie der HRA-Methode CAHR erstellt (Abb. 1).

Phase	Objekt	Aktion	P(A)	Ursachenfaktor	P(PSF)
Vorbereitungsphase	PSA	tragen	4%	Vollständigkeit Auftrag	11%
				Einfachheit Auftrag	11%
				Qualitätskontrolle	7%
				Klarheit des Auftrags	7%
				Aufgabenorganisation	7%
	Gerät	kontrollieren	34%	Vollständigkeit Auftrag	14%
				Aufgabenvorbereitung	10%
				Zielreduktion	7%
				Information ignoriert	7%
				Klarheit des Auftrags	6%

Abbildung 1. Ausschnitt der CAHR-Taxonomie am Beispiel der Diamantseilsäge

Die Bereiche *Objekt* und *Aktion* beschreiben den Bedienungsablauf gemäß der Literaturrecherche, während die Spalte *Ursachenfaktor* die in der CAHR-Datenbank hinterlegten häufigsten Ursachen für unerwünschte Ereignisse bezüglich der jeweiligen Aktion darstellt. Die verwendete Datenbank beinhaltet empirische Daten zu knapp 500 Fällen aus dem kerntechnischen Betrieb.

Die Spalten *P(A)* und *P(PSF)* beschreiben jeweils die relative Fehlerwahrscheinlichkeit der Aktion bezogen auf die Gesamtheit aller Ereignisse bzw. die Fehlerwahrscheinlichkeit der einzelnen Ursachenfaktoren bezogen auf die entsprechende Aktion.

Im Oktober 2019 fand am Fachgebiet A&O ein Projekttreffen mit den Projektpartnern des KIT statt. Im Rahmen dieses Treffens wurden von den Projektpartnern des KIT die Fortschritte hinsichtlich des von ihnen zu erstellenden Verfahrens- und Maschinenkatalogs vorgestellt sowie die Möglichkeiten zur Integration der Kataloge in bzw. deren Anbindung an das von A&O entwickelte Safety-Scanning-Tool gemeinsam erörtert.

Für eine möglichst flexible und anpassbare Anbindung der Verfahrens- und Maschinenkataloge an das Safety-Scanning-Tool, wurde eine einheitliche Datenstruktur entwickelt und mit den Projektpartnern des KIT abgestimmt. Die Integration, der aus den Analysen der kritischen Rückbautätigkeiten gewonnenen Daten zur menschlichen Risikobewertung nach der HRA-Methode CAHR wird aktuell erarbeitet.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Ergebnisse der menschlichen und technischen Risikobewertungen werden im nächsten Schritt in das Safety-Scanning-Tool eingearbeitet (**AP4.1**). Dazu sollen die technischen Informationen (TMB) und menschlichen Risikopotenziale (A&O) der unterschiedlichen Maschinen so aufbereitet werden, dass sie im Planungsprozess im virtuellen Raum als Wiki abrufbar sind und derart dargestellt werden, dass die relevanten Informationen den

Teilnehmern als Diskussionsgrundlage zur Verfügung stehen - parallel mit anderen Informationen, wie Bauplänen oder Fotos der Baustelle, um eine ganzheitliche Diskussion unter der Berücksichtigung von Wechselwirkungen zu ermöglichen.

Ab Januar 2020 wird am Fachgebiet A&O, im Rahmen der Funktionsdefinition und Umsetzung in dem zu entwickelnden Assistenz- und Ergonomie-Bewertungssystem (AP3.1), in einem Laborraum das Mock-up eines Rückbau-Szenarios aufgebaut. Im Sinne eines remote support soll innerhalb dieses Szenarios eine Führungssituation simuliert werden, in welcher eine Führungskraft bzw. ein Aufsichtsführender vor Ort (AvO) einen Mitarbeitenden aus der Ferne bzw. remote über Headset und Videoübertragung bei dessen Arbeit unterstützt.

Der Mitarbeitende trägt bei seinen Arbeiten den Bewegungsanzug cEYEBERMAN des Fachgebietes A&O, welcher einerseits über Körpersensoren eine Erfassung der Bewegungsparameter des Tragenden erlaubt sowie andererseits über Eye-Tracking dessen Blickverhalten aufzeichnet. Die videogestützte Übertragung der auszuführenden Tätigkeiten des Mitarbeitenden erfolgt über den sogenannten „Digital Classroom“ des Fachgebietes A&O, eine innovative, mit Videoleinwänden ausgestattete Lern- und Gruppenarbeitsumgebung. Zusätzlich erhält der AvO ein Headset, über welches, auf Basis der Videoübertragung, eine entsprechende Fernunterstützung im Sinne konkreter Handlungsanweisungen bereitgestellt werden kann.

Im Rahmen einer am Fachgebiet abzulegenden Dissertation werden in dem Rückbau-Szenario darüber hinaus die Kommunikationsgestaltung der Führungskraft sowie deren Auswirkungen auf das emotionale Erleben und die Zufriedenheit des Mitarbeitenden untersucht und entsprechende Empfehlungen für die Interaktions- und Kommunikationsgestaltung der Führungskraft abgeleitet.

Das gesamte Verfahren wird im Juli 2020 Betreibern auf dem VDI Wissensforum „Rückbau kerntechnischer Anlagen“ im Rahmen eines Vortrages und eines Präsentationsstandes vorgestellt und hinsichtlich einer Anwendung bewertet. Mögliche Anwendungspartner für eine weitere Nutzung werden akquiriert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019		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 herzuleiten und Dritten zur Verfügung zu stellen. So wird z.B. durch Kombination der Risikoaspekte in der Projekt- und Prozessplanung mit den Mechanismen für eine gute menschliche Zuverlässigkeit eine robuste Planung der Prozesse erreicht. Die Teilziele des Vorhabens sind demgemäß:

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm (KIT)

- AP1: Kommunikation, Koordination, Dokumentation & Veröffentlichung
- AP2.2: Zusammenstellung eines Verfahrenskatalogs
- AP3.2: Erstellung eines Maschinenkatalogs
- AP4.2: Technische Risikoidentifizierung
- AP5: Zusammenfassung der erarbeiteten Ergebnisse
- AP6: Validierung

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

AP2.2: Der Verfahrenskatalog wurde weiter vervollständigt. Durch weitere Literaturrecherchen wurde die Liste an Verfahren ist nun vollständig und dient als Grundlage für AP3.2.

AP3.2: Es wurde begonnen ein Werkzeugkatalog zu erstellen. Für jedes Verfahren, das im Verfahrenskatalog beschrieben ist, wurde ein Werkzeug, das dieses Verfahren ausführt, ausgewählt. Für die Werkzeugbeschreibung wurde festgelegt, welche Daten relevant sind. So wurden zum einen anhand unterschiedlicher Quelle, die in einem separaten Dokument abgespeichert sind, überprüft, ob dieses Werkzeug bereits im kerntechnischen Bereich zum Einsatz kam. Zum anderen wurden die Werkzeuge in verschiedenen Kategorien, wie Größe, Leistung etc., beschrieben.

Von speziellen Werkzeugen, wie z.B. einem Bagger, wurden von unterschiedlichen Modellen die Informationen zu Größe verschiedener Hersteller gesammelt und diese Informationen ebenfalls in den Werkzeugkatalog übertragen.

AP4.2: Innerhalb des Arbeitspaketes wurde die technische Risikobewertung von Maschinen untersucht. Es wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen, in derer sich der Maschinenkonstrukteur, der Anwender und die Betriebsstätte befindet, analysiert. Ausgehend von den Ergebnissen des Maschinenkatalogs und dem gemeinsamen Projekttreffen mit dem Projektpartner im Oktober wurden Beispielgeräte zur detaillierten Analyse ausgewählt. Ein Teil dieser Geräte wurden einer gesonderten Analyse unterzogen und hinsichtlich Gefahren und Risiken analysiert.

AP5: Mit dem Projektpartner wurde gemeinsam nach einer einheitlichen Formatierung der Kataloge gesucht, damit diese anschließend in das Safety-Scanning-Tool eingebunden werden können.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP3.2: Geplant ist es, den Werkzeugkatalog durch die noch nicht bearbeiteten Verfahren aus dem Verfahrenskatalog zu ergänzen und diesen zu vervollständigen. Sind alle Verfahren übertragen, soll danach eine vertiefte Recherche zu den Werkzeugen durchgeführt werden.

AP4.2: Geplant ist es, die übrigen festgelegten Geräte auf technische Gefahren und Risiken zu analysieren.

AP5: Weitere Untersuchungen, ob die besprochenen Formatierungen funktionieren und dargestellt werden können. Umformatieren der gesamten Kataloge. Einbindung von AP4.2 in die Planungsunterstützung.

AP6: Validierung der Planungsunterstützung mit dem Projektpartner. Erarbeiten einer konkreten Fragestellung. Vorstellung und unabhängige Bewertung durch Betreiber auf dem VDI Wissensforum „Rückbau kerntechnischer Anlagen“ im Juli 2020.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9414A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (IIP)	
Vorhabenbezeichnung: Verbund: Entwicklung eines benutzerfreundlichen kostenoptimierenden Planungswerkzeugs für kerntechnische Rückbauprojekte unter Berücksichtigung von Stoffströmen zur Ressourcenplanung (NukPlaRStoR) – Teilvorhaben: Methodische Konzeptionierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2019 bis 30.06.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 658.953,60 €
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Rebekka Volk	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: rebekka.volk@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Der Rückbau von kerntechnischen Anlagen rückt sowohl national als auch international in den Fokus der Energie- und Rückbauwirtschaft. Bereits abgeschlossene und noch laufende kerntechnische Rückbauprojekte weisen auch aufgrund von unzureichender Planung teilweise extreme Zeit- und Kostenabweichungen von der ursprünglichen Planung auf. Daher ist es das Ziel des Verbundvorhabens NukPlaRStoR, ein Planungswerkzeug zu entwickeln, das speziell auf die Bedürfnisse kerntechnischer Rückbauprojekte abgestimmt ist und die Planung wesentlich vereinfacht. Hierbei sollen alle wesentlichen Anforderungen zur kerntechnischen Rückbauplanung berücksichtigt und mit Hilfe mathematischer Methoden ein optimierender Planungsansatz entwickelt und implementiert werden.

Durch das zu entwickelnde Planungswerkzeug wird ein möglichst optimaler Plan (hinsichtlich der Kosten und unter Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen) berechnet, der alle auszuführenden Arbeiten sowie alle während des Rückbaus anfallenden Stoffströme enthält. Ausgehend von den Stoffströmen wird mit Hilfe des Planungswerkzeugs eine logistische Planung (z.B. Transport und Bearbeitung innerhalb der Anlage, inkl. Konditionierung) sowie eine Behälterplanung inkl. Endlagerdokumentation ermöglicht. Des Weiteren soll das zu entwickelnde Planungswerkzeug mit anderen Programmen (bspw. zur Reststoffverfolgung) gekoppelt werden. Ein wesentlicher Bestandteil der Arbeiten im Verbundvorhaben besteht in der Entwicklung einer benutzerfreundlichen Oberfläche des Planungswerkzeugs.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Forschungsprojekt untergliedert sich in sieben Arbeitspakete (AP): Zunächst werden Daten aus bereits durchgeführten kerntechnischen und konventionellen Rückbauprojekten gesammelt und aufbereitet (AP1). Mit Hilfe dieser Daten wird das Planungswerkzeug des abgeschlossenen Verbundvorhabens MogaMaR (Förderkennzeichen: 02S9113A und 15S9113A) getestet, um dessen Praxistauglichkeit nachzuweisen (AP2). Nachdem der Nachweis erbracht wurde, werden Weiterentwicklungen dieses Planungswerkzeugs vorgenommen, die jeweils mit den Daten getestet und validiert werden. Hierzu wird zunächst eine benutzerfreundliche Nutzeroberfläche erstellt (AP3), welche die Bedienung des Planungswerkzeugs ohne große Vorkenntnisse ermöglicht und Fehler bei der Verwendung verhindert. Das Planungswerkzeug wird mit Software gekoppelt, welche typischerweise beim Rückbau kerntechnischer Anlagen eingesetzt wird, allerdings den Plan

nicht optimiert (AP4). Dazu werden Schnittstellen zwischen dem Planungswerkzeug und solcher Software geschaffen. Je Vorgang wird bestimmt, welche und wie viele Stoffe zeitlich definiert bei dessen Ausführung anfallen (AP5). Hierzu werden die Stoffe in einer zuvor recherchierten und aufgestellten Klassifikation eingeordnet. Im Zuge der Abbildung von Stoffströmen im Planungswerkzeug wird eine logistische Planung zum Umgang mit den Stoffströmen entwickelt und implementiert. Dies umfasst eine Reststoff- und Abfallplanung und die dafür benötigten Produktkontrollmaßnahmen (AP6.1), die Planung von Logistik und Transport, Behandlung und Konditionierung (AP6.2), eine Behälterplanung (AP6.3) und die Erstellung einer Endlagerdokumentation (AP6.4). Außerdem wird das Planungswerkzeug um weitere Funktionen, wie zu berücksichtigende alternative Ausführungsmöglichkeiten (sog. Multi-Mode-Fall) (AP7.1), die Orte der Vorgangsausführung (AP7.2) sowie die Berücksichtigung von Verbrauchsressourcen (AP7.3) und Pufferlagern (AP7.4) erweitert.

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

KIT hat im Rahmen des AP1 unter Zuarbeit des assoziierten Projektpartners VPC GmbH Daten eines realen Rückbauprojekts gesammelt und in einer Excel-Tabelle aufbereitet. Die Daten wurden bilateral strukturiert und von Experten geprüft, sodass sie als Eingabe und zum Testen für das im abgeschlossenen MogaMaR-Projekt entwickelte Planungswerkzeug verwendet werden können. Desweiteren wurden Gespräche mit Energieversorgern und Betreibern nuklearer Kraftwerke geführt, um die Bedürfnisse zukünftiger Nutzer besser zu verstehen und ggf. mit weiteren realen Datensätzen dieser Organisationen Testrechnungen durchzuführen. Die Gespräche hierzu dauern an.

Im Rahmen des AP2 hat KIT verschiedene Funktionen des Planungswerkzeugs mit dem aufbereiteten Datensatz getestet (vgl. separater Bericht zur Praxistauglichkeit). Unter Verwendung der erzielten Ergebnisse wurde anhand entwickelter Kriterien die generelle Eignung des Planungswerkzeugs zur praxisnahen Unterstützung der Ablaufplanung eines kerntechnischen Rückbauprojekts bewertet. Von acht Kriterien sind fünf Kriterien vollständig erfüllt, weshalb die Praxistauglichkeit als nachgewiesen angesehen wird. Sämtliche durchgeführte Arbeiten und Tests im AP2 wurden von KIT in einem gesonderten Bericht dokumentiert.

Für AP3 hat KIT bereits damit begonnen, ein theoretisches Konzept für die Erstellung einer Benutzeroberfläche zu entwickeln. Des Weiteren hat KIT den Programmcode des Planungswerkzeugs für den weiteren Softwareentwicklungsprozess vorbereitet. Dazu wurden Programmierschnittstellen geschaffen, in einem Handbuch umfassend dokumentiert und dem Projektpartner Gesellschaft für integrierte Systemplanung mbH (GiS) vorgestellt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP3 wird aktuell von KIT und GiS weiterbearbeitet. In einem gemeinsamen Softwareentwicklungsprozess wird eine Benutzeroberfläche für die bereits bestehende Programmlogik entworfen und von allen Projektpartnern in Zusammenarbeit mit potenziellen Anwendern umfangreich getestet. Es wird erörtert, inwiefern Funktionalitäten in den entstehenden Prototypen integriert oder über Schnittstellen zu existierender Projektmanagementsoftware ausgelagert werden (z. B. die Darstellung eines Projektplans als Gantt-Diagramm). Zur Konzeption dieser Schnittstellen werden Experten befragt und/oder Recherchen durchgeführt, sowie softwareseitige Vorbereitungen getroffen.

KIT wird im nächsten Schritt in enger Absprache mit Praxispartnern das bestehende und erfolgreich getestete Optimiermodell des Planungswerkzeugs um zusätzliche Funktionalitäten erweitern, sodass alle Voraussetzungen für eine optimierende Planung realer Rückbauprojekte geschaffen sind. Dazu werden unter anderem die Erkenntnisse aus AP2 genutzt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundvorhaben baut auf den Ergebnissen des bereits abgeschlossenen Forschungsprojekts „Modellentwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems für kerntechnische Rückbauprojekte (MogaMaR; BMBF-gefördert; Förderkennzeichen: 02S9113A und 15S9113A; Laufzeit: 01/2014 bis 06/2022)“ auf. Ähnliche Vorhaben, deren Ergebnisse genutzt werden könnten sind dem Projektteam nicht bekannt.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Im Rahmen des AP2 wurde ein „Bericht zum Nachweis der Praxistauglichkeit“ erstellt (nicht veröffentlicht). Desweiteren wird der aktuelle Projektstand auf der anwendernahen Fachkonferenz „7th Nuclear Decommissioning & Waste Management Summit“, organisiert von ACI, am 12. und 13. Februar in London (UK) vorgestellt. Zudem wurde ein Abstract zu einer wissenschaftlichen Konferenz (IFORS Seoul, Juni 2020) erarbeitet und eingereicht. Es zudem ist geplant, die aktuellen Modellentwicklungen dort dem internationalen, akademischen Fachpublikum vorzustellen. Eine Vorstellung des entstehenden Prototyps an der ICOND 2020 ist anvisiert.

Berichtszeitraum: 01.07.2019 bis 31.12.2019	Förderkennzeichen: 15S9414B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: GiS Gesellschaft für integrierte Systemplanung mbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbund: Entwicklung eines benutzerfreundlichen kostenoptimierenden Planungswerkzeugs für kerntechnische Rückbauprojekte unter Berücksichtigung von Stoffströmen zur Ressourcenplanung (NukPlaRStoR) – Teilvorhaben: Benutzeroberfläche und Schnittstellen	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.07.2019 bis 30.06.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 205.681,04 Euro €
Projektleiter/-in: Oliver Wagner	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: o.wagner@gis-systemhaus.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Der Rückbau von kerntechnischen Anlagen rückt sowohl national als auch international in den Fokus der Energie- und Rückbauwirtschaft. Bereits abgeschlossene und noch laufende kerntechnische Rückbauprojekte weisen auch aufgrund von unzureichender Planung teilweise extreme Zeit- und Kostenabweichungen von der ursprünglichen Planung auf. Daher ist es das Ziel des Verbundvorhabens NukPlaRStoR, ein Planungswerkzeug zu entwickeln, das speziell auf die Bedürfnisse kerntechnischer Rückbauprojekte abgestimmt ist und die Planung wesentlich vereinfacht. Hierbei sollen alle wesentlichen Anforderungen zur kerntechnischen Rückbauplanung berücksichtigt und mit Hilfe mathematischer Methoden ein optimierender Planungsansatz entwickelt und implementiert werden.

Durch das zu entwickelnde Planungswerkzeug wird ein möglichst optimaler Plan (hinsichtlich der Kosten und unter Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen) berechnet, der alle auszuführenden Arbeiten sowie alle während des Rückbaus anfallenden Stoffströme enthält. Ausgehend von den Stoffströmen wird mit Hilfe des Planungswerkzeugs eine logistische Planung (z.B. Transport und Bearbeitung innerhalb der Anlage, inkl. Konditionierung) sowie eine Behälterplanung inkl. Endlagerdokumentation ermöglicht. Des Weiteren soll das zu entwickelnde Planungswerkzeug mit anderen Programmen (bspw. zur Reststoffverfolgung) gekoppelt werden. Ein wesentlicher Bestandteil der Arbeiten im Verbundvorhaben besteht in der Entwicklung einer benutzerfreundlichen Oberfläche des Planungswerkzeugs.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Forschungsprojekt untergliedert sich in sieben Arbeitspakete (AP): Zunächst werden Daten aus bereits durchgeführten kerntechnischen und konventionellen Rückbauprojekten gesammelt und aufbereitet (AP1). Mit Hilfe dieser Daten wird das Planungswerkzeug des abgeschlossenen Verbundvorhabens MogaMaR (Förderkennzeichen: 02S9113A und 15S9113A) getestet, um dessen Praxistauglichkeit nachzuweisen (AP2). Nachdem der Nachweis erbracht wurde, werden Weiterentwicklungen dieses Planungswerkzeugs vorgenommen, die jeweils mit den Daten getestet und validiert werden. Hierzu wird zunächst eine benutzerfreundliche Nutzeroberfläche erstellt (AP3), welche die Bedienung des Planungswerkzeugs ohne große Vorkenntnisse ermöglicht und Fehler bei der Verwendung verhindert. Das Planungswerkzeug wird mit Software gekoppelt, welche typischerweise beim Rückbau kerntechnischer Anlagen eingesetzt wird, allerdings den Plan nicht optimiert (AP4). Dazu werden Schnittstellen zwischen dem Planungswerkzeug und

solcher Software geschaffen. Je Vorgang wird bestimmt, welche und wie viele Stoffe zeitlich definiert bei dessen Ausführung anfallen (AP5). Hierzu werden die Stoffe in einer zuvor recherchierten und aufgestellten Klassifikation eingeordnet. Im Zuge der Abbildung von Stoffströmen im Planungswerkzeug wird eine logistische Planung zum Umgang mit den Stoffströmen entwickelt und implementiert. Dies umfasst eine Reststoff- und Abfallplanung und die dafür benötigten Produktkontrollmaßnahmen (AP6.1), die Planung von Logistik und Transport, Behandlung und Konditionierung (AP6.2), eine Behälterplanung (AP6.3) und die Erstellung einer Endlagerdokumentation (AP6.4). Außerdem wird das Planungswerkzeug um weitere Funktionen, wie zu berücksichtigende alternative Ausführungsmöglichkeiten (sog. Multi-Mode-Fall) (AP7.1), die Orte der Vorgangsausführung (AP7.2) sowie die Berücksichtigung von Verbrauchsressourcen (AP7.3) und Pufferlagern (AP7.4) erweitert.

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

GiS hat im Rahmen des AP1 Zuarbeit geleistet bei der Aufbereitung der durch den assoziierten Projektpartner VPC GmbH bereit gestellten Daten eines realen Rückbauprojekts in eine Excel-Tabelle, sodass diese als Eingabe für das im MogaMaR-Projekt entwickelte Planungswerkzeug verwendet werden können. Hier hat die GiS insbesondere die Durchführung des Datenmappings (Abbildung der Datenstrukturen der durch VPC gelieferten Quelldaten auf das Ziel-Datenmodell) unterstützt. Um für die in den kommenden Arbeitspaketen 3 bis 7 notwendigen Validierungen Daten aus Praxisprojekten in maximaler Detailtiefe zu erhalten, hat die GiS den Kontakt mit der Multiprojektplanungsabteilung der EnBW Kernkraft GmbH (EnKK) hergestellt und dort zusammen mit dem KIT das Verbundvorhaben vorgestellt. Ziel ist, durch eine Zusammenarbeit mit der EnKK-Planungsabteilung zum einen wertvolle Informationen über Planungsprämissen und aktuelle Probleme und zum anderen Zugriff auf die detaillierten Planungsdaten konkreter Rückbauprojekte der EnKK zu erhalten.

Im Rahmen des AP3 hat die GiS damit begonnen, die für die anstehende Softwareentwicklung notwendige Entwicklungsumgebung (Framework und Programmierwerkzeuge) zu eruieren. Zudem wurden die für die Eingangsdatenversorgung des Planungswerkzeugs notwendigen Programmierschnittstellen in Zusammenarbeit mit dem KIT konzipiert und abgestimmt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP3 wird von KIT und GiS weiterbearbeitet. In einem gemeinsamen Softwareentwicklungsprozess wird eine Benutzeroberfläche für die bereits bestehende Programmlogik entworfen und von allen Projektpartnern in Zusammenarbeit mit potenziellen Anwendern umfangreich getestet. Es wird erörtert, inwiefern Funktionalitäten in den entstehenden Prototypen integriert oder über Schnittstellen zu existierender Projektmanagementsoftware ausgelagert werden (z. B. die Darstellung eines Projektplans als Gantt-Diagramm). Zur Konzeption dieser Schnittstellen werden Experten befragt und/oder Recherchen durchgeführt, sowie softwareseitige Vorbereitungen getroffen.

KIT wird in enger Absprache mit Praxispartnern das Optimiermodell des Planungswerkzeugs um zusätzliche Funktionalitäten erweitern, um alle Voraussetzungen für eine umfangreiche Planung realer Rückbauprojekte zu schaffen. Dazu werden unter anderem die Erkenntnisse aus AP2 genutzt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Das Verbundvorhaben baut auf den Ergebnissen des bereits abgeschlossenen Forschungsprojekts „Modellentwicklung eines ganzheitlichen Projektmanagementsystems für kerntechnische Rückbauprojekte (MogaMaR; BMBF-gefördert; Förderkennzeichen: 02S9113A und 15S9113A; Laufzeit: 01/2014 bis 06/2022)“ auf.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine