

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
01. Januar - 30. Juni 2020

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) gGmbH

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
1. Januar - 30. Juni 2020

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	10
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.	19
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.	22
02.	Dekontaminationsverfahren und Gebäudefreigabe	
15S9409A	Verbundprojekt: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenflussverteilungen - Teilprojekt: Berechnung der Neutronenflussverteilung in reaktornahen Bauteilen und deren Validierung an Experimenten als Basis der Aktivitätsrechnungen	25
15S9409B	Verbundprojekt: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenflussverteilungen - Teilprojekt: Entwicklung und Anwendung einer Rechenmethode zur genauen Bestimmung der Aktivitäts- und Dosisleistungsverteilung von KKW für optimalen Rückbau	28
15S9412	Wege zum effizienten Rückbau von Reaktorkomponenten und Betonabschirmung: Berechnung des Aktivitätsinventars und deren Validierung an Bohrkernen sowie Mobilitätsuntersuchungen von Radionukliden	32
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	35
15S9413B	Verbundvorhaben: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung von radioaktiv kontaminierten Zementstein mittels elektrohydraulischer Fragmentierung	38
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	41
15S9416B	Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster	44
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	47
15S9416D	Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Praxisversuche und Verifizierung	49

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
15S9418A	Verbund: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau (LaDeco) – Teilprojekt: Ermittlung von Sekundäremissionen bei der laserbasierten Dekontamination und Praxiserprobung	52
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	55
15S9421A	Verbundvorhaben: Robotergestützte Bearbeitung von Baugruppen beim Rückbau von Kernkraftwerken - Teilprojekt: Verfahrenstechnik und Engineering	58
15S9421B	Verbundvorhaben: Robotergestützte Bearbeitung von Baugruppen beim Rückbau von Kraftwerken; Teilprojekt: Autonome Digitalisierung und Entschichtung von Baugruppen	62
03.	Abfallbehandlung, Abfalldeklaration, Zwischenlagerung	
15S9405A	Verbundprojekt: Konzeptstudie zur Entsorgung von aktiviertem Beryllium aus Forschungsreaktoren - Teilprojekt: Dekontamination, Konditionierung und Verwertung von bestrahltem Beryllium (KONEKT)	65
15S9405B	Verbundprojekt: Konzeptstudie zur Entsorgung von aktiviertem Beryllium aus Forschungsreaktoren - Teilprojekt: Inventarisierung und Randbedingungen zu Endlagerung von bestrahltem Beryllium (KONEKT)	68
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	78
15S9407A	Verbundprojekt: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit - Teilprojekt: Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Konditionierungsverfahren mit Nuklidseparation zur Volumenreduktion	81
15S9407B	Verbundprojekt: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit - Teilprojekt: Entwicklung und Erprobung von Verfahrensansätzen zur Vergasung von Reaktorgraphit für die optimale Abtrennung radioaktiver Kontaminationen	85
15S9410A	VP: Charakterisierung und Quantifizierung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie - Teilprojekt: Optimierung der Entscheidungsmessung und Freigabemengen	89
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	93
15S9411	Verbesserung der quantitativen Datenauswertung für die zerstörungsfreie Charakterisierung radioaktiver Behälter und Objekte	96
15S9420	Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebinde (EMOS)	99
04.	Umwelt- und Strahlenschutz	
15S9417	Umsetzung von Schwermetall-Landfarming zur nachhaltigen Landschaftsgestaltung und Gewinnung erneuerbarer Energien auf radionuklidbelasteten Flächen: Optimierungsstrategien (USER-II)	103

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
05.	Mensch und Organisation	
15S9401A	Verbundvorhaben: Sicherer und kosteneffektiver Rückbau (SIKOR) - Teilprojekt: Planung und Durchführung zuverlässiger Personalhandlungen	106
15S9401B	Verbundvorhaben: Sicherer und kosteneffektiver Rückbau (SIKOR) - Teilprojekt: Technische Risikoaspekte	110
15S9414A	Verbund: Entwicklung eines benutzerfreundlichen kostenoptimierenden Planungswerkzeugs für kerntechnische Rückbauprojekte unter der Berücksichtigung von Stoffströmen zur Ressourcenplanung (NukPlaRStoR) - Teilprojekt: Methodische Konzeptionierung	112
15S9414B	Verbund: Entwicklung eines benutzerfreundlichen kostenoptimierenden Planungswerkzeugs für kerntechnische Rückbauprojekte unter der Berücksichtigung von Stoffströmen zur Ressourcenplanung (NukPlaRStoR) Teilprojekt: Benutzeroberfläche und Schnittstellen	115
15S9419	Transformationskonzept für Personal von Kernkraftwerken im Rückbau (KernTrafo)	118

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 31.07.2020	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 hybrides Schneidverfahren entwickelt, welches 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)

- Für das AP10 wurde ein Gehäuse konstruiert, das die Nutzung des Hybridbrenners in horizontaler Lage ermöglicht, ohne die Elektrik der Überströmeinheit des Autogenbrenners zu beschädigen. Durch den Bau eines abgedichteten Gehäuses, um die Gaszuführung, die Überströmeinheit und das Schaltventil des Autogenbrenners vor Wasser zu schützen, ist es möglich den Brenner in horizontaler Lage so wie auch in größeren Wassertiefen zu nutzen.
- Im AP11 wurden mit dem entwickelten Demonstrator, bestehend aus einem Autogenbrenner in Kombination mit einem Plasmabrenner, Versuche zur Ermittlung der optimalen Betriebsparameter durchgeführt. Bei diesen Versuchen zeigt sich deutlich, dass der Einstellwinkel und der damit verbundene Abstand der beiden Brenner zu einander einen sehr großen Einfluss auf den Trennvorgang haben. Ab Wandstärken von > 20 mm kann von einem hybriden Prozess ausgegangen werden, da ab dieser Wandstärke beide Verfahren gemeinsam wirken müssen, um ein erfolgreiches Trennen zu ermöglichen. Kann der Plasmastrahl nicht unten aus dem Werkstück austreten wird dieser an dem Punkt, an dem er seine Wirtiefe erreicht hat abgelenkt und trifft dort auf die Flamme des folgenden Autogenbrenners. Befinden sich diese beiden Zonen zu dicht aneinander kann es dazu kommen, dass der Plasmastrahl so wie das umgebende Wirbelgas einen negativen Einfluss auf die Schneidflamme haben. Dies äußert sich in einer zu geringen Wärmeeinbringung und einem nicht vollständigen Schnitt oder dem Erlöschen der Flamme, bei einer zu geringen Schneidgaszufuhr. Der minimal einzustellende Brennerabstand bei einem nachlaufenden Prozess, bei dem mit zwei Wirkzonen gearbeitet wird, liegt bei 45 mm.

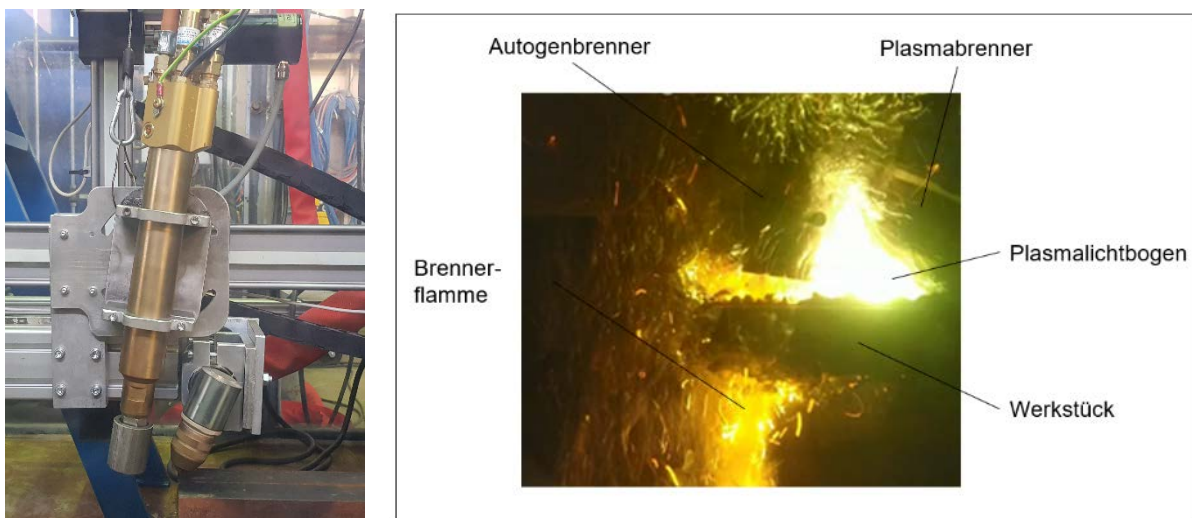


Abbildung 1: links: Autogenbrenner in Kombination mit einem Plasmabrenner, rechts: Hybrides Schneiden unter Wasser

Um die gegenseitige Beeinflussung zu minimieren wurden zudem Versuche durchgeführt, in denen mit einem Versatz der beiden Brenner gearbeitet wurde. Durch den Versatz von ca. 2 mm erzeugt jedes Verfahren seine eigene Schnittfuge. Durch die Wärme, die durch den Plasmabrenner ins Werkstück eingebracht wird kann ein Trennprozess mittels autogener Flamme erzielt werden. Die nicht ausgetriebene Schlacke des Plasmaprozesses und die aufsteigenden Gase greifen somit nicht in die Wirkzone der autogenen Flamme ein und es ereignet sich keine negative Beeinflussung.

Prozessparameter	
-	Schnittgeschwindigkeit: 253 mm/min
-	Einstellungen Autogenbrenner
-	Gasdruck Heisauerstoff : 6,5 bar
-	Gasdruck Brenngas : 1,5 bar
-	Gasdruck Schneidgas : 8 bar
-	Einstellungen Plasmaanlage
-	Schneidstrom : 130 A
-	Schneidspannung : 150 V
-	Gasdruck Wirbelgas : 5 bar
-	Gasdruck Schneidgas : 7 bar




Abbildung 2: Prozessparameter zum UW-Schneiden von 30 mm Stahl mittels hybridem Schneidverfahren

- Die ermittelten Schalldaten der Schnittprozesse liefern ein ungünstiges Signal zu Rausch Verhältnis. Zurzeit werden Filter- und Analysemethoden evaluiert, um die Signalqualität zu verbessern. Hierbei werden Hardwarefilter bei der Messung und Softwarefilter sowie Signalkonditionierung bei der Analyse auf ihre Eignung untersucht. Zusätzlich wurden Hydrophone beschafft, um Schalldaten im hörbaren Frequenzbereich untersuchen zu können.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Fertigstellung des Baus des Demonstrators zur Qualifizierung der hybriden Zerlegverfahren und zur Quantifizierung der Zerlegleistung in AP 10.
- In AP11 soll die Durchführung der geplanten Versuchsreihe mit den beiden Hybridprozessen fortgesetzt und beendet werden. Die Parameterfenster für einen stabil ablaufenden, hybriden thermischen Trennprozess sollen zunächst unter einer Wasserüberdeckung von ca. 0,5 m ermittelt werden.
- Nach der Ermittlung der optimalen Prozessparameter werden in AP 11 Partikelemissionen sowie der diffusibel gebundene Wasserstoff im Werkstück gemessen.
- Anpassung der Druckkammer für die Qualifizierung der Demonstratorbrenneranordnung in AP 11 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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9402B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: NUKEM Technologies Engineering Services GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Hybride Schneidverfahren zum thermischen Trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser Teilprojekt: Entwicklung einer Prozesssteuerung für Hybrid-Trennverfahren unter Wasser	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2017 bis 31.10.2020	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 98.856,11 €
Projektleiter/-in: Klaus Büttner	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Klaus.buettner@nukemtechnologies.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

Anhand von theoretischen Betrachtungen und praktischen Untersuchungen werden quantifizierbare Aussagen über die Prozessstabilität und den Einfluss der Prozessparameter ermittelt. Aufbauend auf den Erkenntnissen der Voruntersuchungen werden Schneidprozesse ausgewählt, welche die hohe Schneidtiefe des autogenen Brennschneidens mit der für die Fernhandlung des Verfahrens erforderlichen hohen Prozesssicherheit verbinden. Die gewonnen Erkenntnisse werden in der Entwicklung eines Prototyps 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 Anfang März ausgetauscht und die Beschaffung der Aktoren und Sensoren abgeschlossen. Die abgestimmte Vorgehensweise zum Bau der Prototypenanlage konnte aufgrund des Corona bedingten Lockdowns nicht wie vorgesehen in Angriff genommen werden. Dadurch konnten auch die ersten Tests der Anlage und deren Optimierung nicht erfolgen.

In Telefonkonferenzen wurden die Abläufe der ersten Tests diskutiert und mögliche Varianten bei der Parametrierung angedacht.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Der Bau der Prototypenanlage soll vorangetrieben werden. Ziel sind die wegen Corona verschobenen ersten Tests der Anlage nach zu holen und anhand der Ergebnisse die weitere Optimierung der Prozessparameter vor zu nehmen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020		Förderkennzeichen: 15S9404	
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover - Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)			
Vorhabenbezeichnung: Innovatives Seilschleifkonzept für die Bearbeitung von Stahl (InnoSeil)			
Laufzeit des Vorhabens: vom 01.12.2017 bis 30.11.2020		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 457.918,94 €	
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: denkena@ifw.uni-hannover.de	

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des beantragten Forschungsvorhabens ist es, die Leistungsfähigkeit von Seilschleifwerkzeugen für den Rückbau metallischer Strukturen in Kernkraftanlagen um 10 bis 20 %, sowie deren Standzeit um bis zu 50 % zu steigern. Da bei der Bearbeitung von Metall kein Selbstschärfeeffekt der eingesetzten Schleifperlen auftritt, werden beim Seilschleifen von Metallen derzeit ausschließlich einschichtig belegte Schleifperlen eingesetzt. Im Gegensatz zu den mehrschichtigen Schleifperlen liegt hier nur eine Lage Schleifkörner in der Bindung vor. Ist diese verschlissen, muss das komplette Seil ausgetauscht werden, sodass hohe Werkzeugkosten entstehen. In Kombination mit hohen thermischen Werkzeugbeanspruchungen ist die Standzeit der Diamantseilschleifwerkzeuge gering. Zudem kann bei vielen Rückbauanwendungen nicht mittels Wasser gekühlt werden. Durch die Nutzung von mehrschichtigen Perlen mit temperaturbeständigen CBN-Schleifkörnern und der Identifikation einer optimalen Bindung für die Bearbeitung von Stahl wird eine Selbstschärfung der Perlen während des Prozesses ermöglicht. Zusätzlich ist die thermische Stabilität der konventionellen Gummierung auf etwa 80 °C begrenzt. Deshalb soll eine neue Vergussmasse zum Verfüllen der Perlenzwischenräume entwickelt werden, die sich durch eine zu Gummi vergleichbare Adhäsion auf dem Trägerseil, aber insbesondere durch eine höhere thermische Stabilität auszeichnet. So entsteht ein Demonstrator, dessen Leistungsdaten die Referenzwerte von kommerziell erhältlichen Seilschleifsystemen zur Bearbeitung von Stahl deutlich übertreffen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1 Entwicklung angepasster Schleifperlen durch Flachsleifuntersuchungen

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

AP 2 Entwicklung einer angepassten Vergussmasse

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

AP 3 Prozessentwicklung und Herstellung eines Werkzeug-Demonstrators

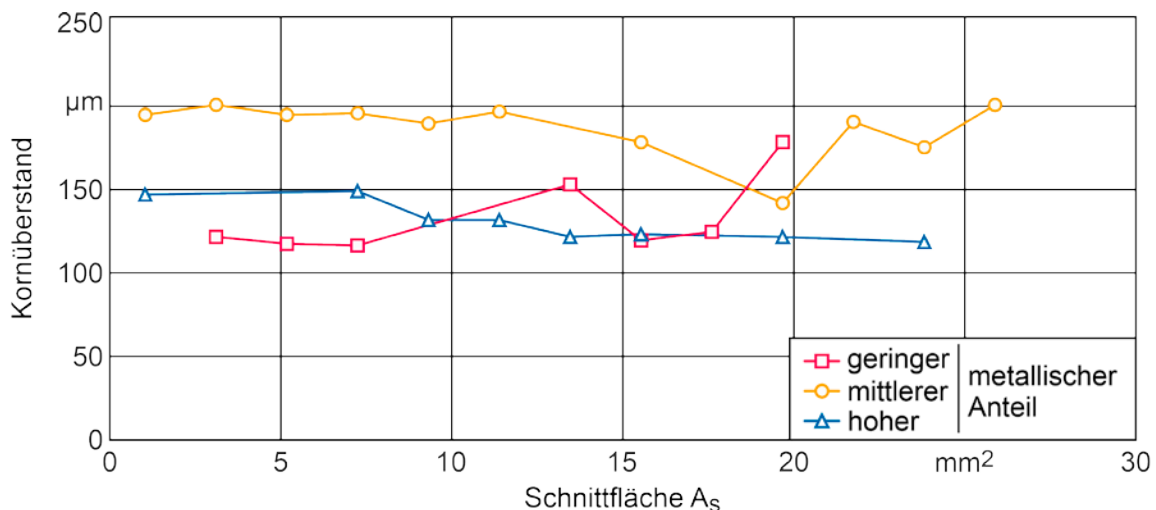
Die gewonnenen Erkenntnisse werden zur Entwicklung eines neuen Werkzeugkonzepts verwendet und dessen Leistungsdaten bestimmt.

AP 4 Laboruntersuchungen zur Bewertung der Leistungsfähigkeit des Demonstrators

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

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

AP 3: Zur weiterführenden Untersuchung keramisch-metallischer Schleifsegmente zur Verwendung beim Seilschleifen von Stahl wurden Segmente mit unterschiedlichem metallischen Bindungsanteil untersucht. Dieser Anteil besitzt einen signifikanten Einfluss auf die Bindungseigenschaften und damit auf den Selbstschärfeeffekt des Schleifsegments. In vorherigen Untersuchungen wurde bereits gezeigt, dass die Schleifsegmente mit mittlerem metallischen Bindungsanteil den geringsten Radialverschleiß aufweisen und dieser sogar unterhalb des Radialverschleißes eines Referenzsegments mit vakuumgelöteten einschichtigen Diamanten liegt. Dadurch wurde die generelle Eignung von CBN für das trockene Schleifen von Stahl verifiziert. Um den Selbstschärfeeffekt der Bindung vollständig bewerten zu können, wurden Untersuchungen mit der bereits im Projekt verwendeten Ritzscheibe durchgeführt. Dabei wurde die Schleifsegmenttopographie in diskreten Abständen mit einem Laserprofilometer aufgenommen. Die Aufnahme eines größeren Bereichs des Schleifsegments ermöglicht es, einzelne Körner nach jedem Schleifversuch erneut zu identifizieren und mittels Linienprofil in Schleifrichtung den Kornüberstand der einzelnen CBN-Körner zu bestimmen. Die Ergebnisse der Kornüberstände sind in *Abbildung 2* dargestellt. Dabei wurde der Kornüberstand jeweils bis zum Ausbruch des Kornes aufgenommen.



Prozessstellgrößen:

$v_c = 20$ m/s
 $v_f = 5$ mm/min
 $a_e = 0,1$ mm

Werkzeug:

Bindung: Hybrid
 Metallischer Anteil: var.
 Schleifkorn: CBN
 $d = 300$ mm
 $d_g = 601$ µm

Werkstück:

Stahl S355JR

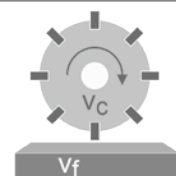


Abbildung 2: Kornüberstand in Abhängigkeit der Schnittfläche und der Bindungsspezifikation

Die Ergebnisse zeigen für das Schleifsegment mit geringem metallischem Anteil eine Zunahme des Kornüberstands bei Erhöhung des Zerspanvolumens auf. Aufgrund des hohen keramischen Anteils der Bindung liegt ein eher sprödes Materialverhalten der Bindung vor. Dadurch bedingt kommt es leichter zum Bruch einzelner Bindungsbrücken, wodurch Teile

der Bindung abgetragen werden und der Kornüberstand erhöht wird. Aufgrund der Zunahme des Kornüberstands ist das Zurücksetzen der Bindung in diesem Fall höher als der Kornverschleiß des CBN. Das Korn wird schneller freigelegt als verschleißbedingt notwendig. Dies resultiert in einem frühen Ausbrechen des Kornes nach ca. 19 mm² Schnittfläche. Im Gegensatz dazu ist bei hohem metallischem Anteil der Bindungsrücksatz geringer als der Kornverschleiß wodurch es zu einer kontinuierlichen Abnahme des Kornüberstandes kommt und damit das Werkzeug seine Einsatzfähigkeit verliert. Im Verlauf des Segments mit mittlerem metallischem Anteil zeigt sich ein im Mittel konstanter Kornüberstand. Die Schwankungen des Verlaufs sind auf das Brechen von Bindungsbrücken zurückzuführen. Durch Kornverschleiß steigt die Reibung zwischen Werkstück und Bindungsoberfläche bis zur Überlast der Bindung und dem Brechen der Bindungsbrücken. Dies hat einen sprunghaften Anstieg des Kornüberstandes zur Folge.

Die Erkenntnisse über den Einfluss des metallischen Bindungsanteils auf den Selbstschärfereffekt lassen sich anhand von Topographieaufnahmen zum Ende der Versuchsdauer verifizieren (Abbildung 3). Bei hohem metallischen Bindungsanteil kommt es vorzeitig zum starken Einebnen der Segmentoberfläche, wodurch es aufgrund zu hoher Prozesskräfte auch zum vorzeitigen Versuchsabbruch kam. Lediglich bei mittlerem metallischen Bindungsanteil liegen auch nach 50 mm² Schnittfläche scharfe CBN-Körner an der Oberfläche vor, sodass die Einsatzfähigkeit des Schleifsegments weiterhin gegeben ist.

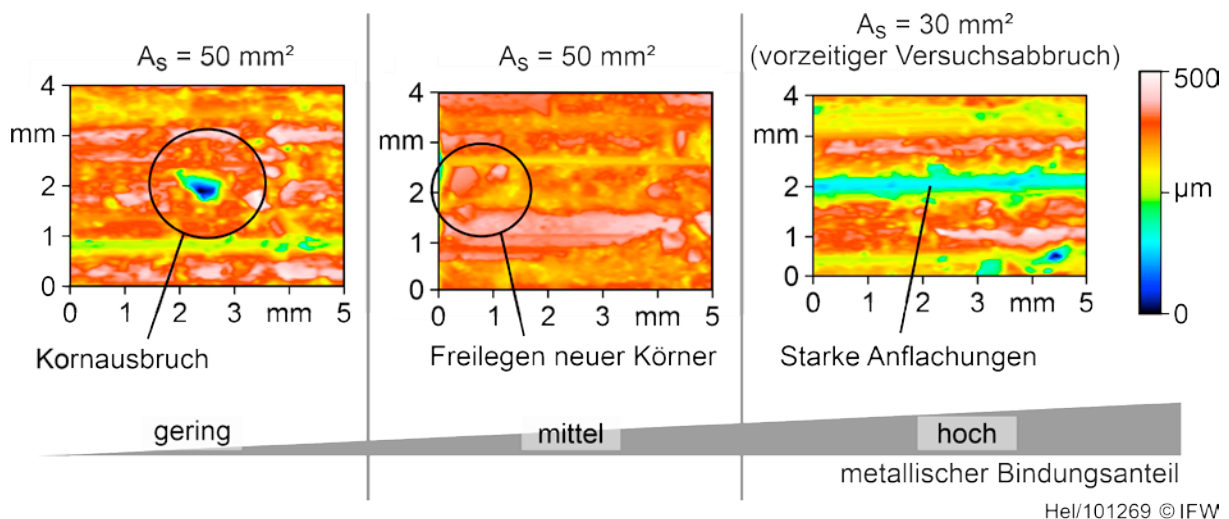


Abbildung 3: Topographieaufnahmen zum Versuchsende

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 4: 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. Harmes, C. Heller (2019): Trockenes Seilschleifen von Stahl mittels innovativer Schleifwerkzeugkonzepte, Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren, Vulkan Verlag, Essen

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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 (Verlängert bis zum 31.01.2021)	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): Die Ergebnisse beim Schneiden von 6 mm starkem Edelstahl mit Druckluft als Schneidgas decken sich mit den Resultaten aus den Versuchen mit 3 mm starkem Edelstahl. Die Ausbildung eines Grates auf der Probenrückseite durch Nutzung eines geringen Schneidgasdrucks führt zu einer erheblichen Verringerung des Gewichtsverlustes der Proben im Vergleich zu konventionellen Verfahren wie bspw. Sägeverfahren. Im Vergleich zum Schnitt mit einer Bandsäge mit einer angenommenen Sägeblattdicke von 1,5 mm, kann der Gewichtverlust durch den Schnitt um über 90% reduziert werden (Reduzierung von ca. 70 g auf ca. 6 g/m). Beim Schneiden von 15 mm starkem Edelstahl mit Druckluft führt hingegen ein höherer Gasdruck zu geringerem Gewichtsverlust. Die maximal erreichte Reduzierung des Gewichtsverlustes beträgt hier etwa 80% (Reduzierung von ca. 175 g auf ca. 35 g/m).

AP5 (Lasersicherheit): Es wurden Leistungsmessungen mit einem durch das Wasser propagierendem Laserstrahl durchgeführt (Abbildung 4). Ein Schutzglas führt den Laserstrahl nach dem Durchdringen des Wassers zurück an die Luft und auf den Leistungsmesskopf unterhalb des Beckens. Die Wasserhöhe ab der Oberfläche des Schutzglases beträgt 40 mm. Der betrachtete Leistungsbereich beträgt 500 - 1500 W und wurde durch das Verdampfen von Wasser und das Beschlagen des Schutzglases begrenzt. Die Auswertung der Messungen ergibt Leistungsreduktionen im Vergleich zu Referenzmessungen ohne Wasser von mindestens 80 %. Dieses Ergebnis verdeutlicht die hohe Absorption der Laserstrahlung bei 1030 nm durch das Wasser, was sich positiv auf die Auslegung von benötigten Laserschutzmaßnahmen in zukünftigen Einsatzszenarien auswirkt.

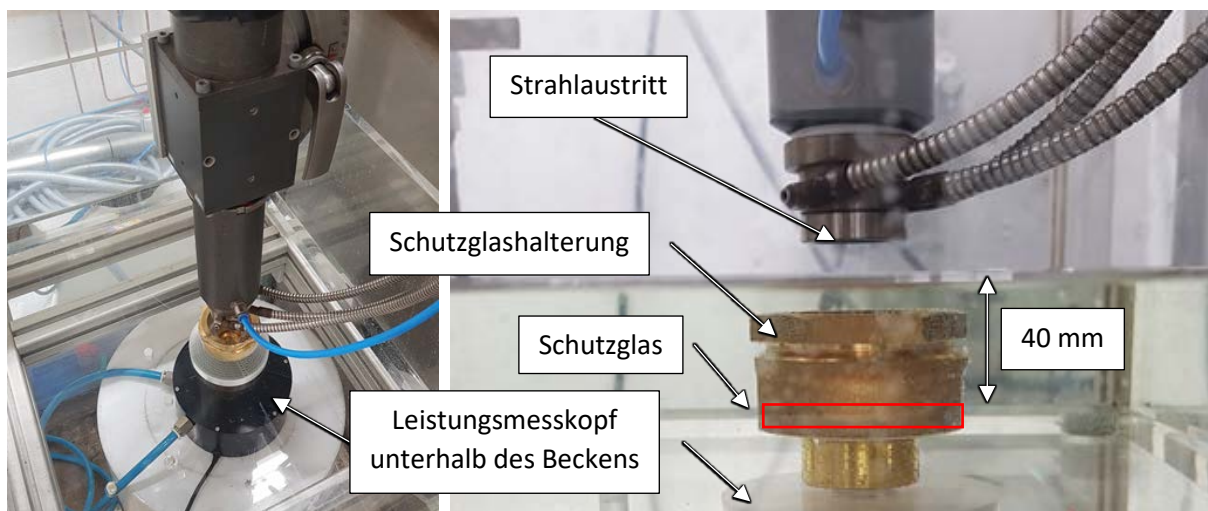


Abbildung 4: Leistungsmessung beim Durchstrahlen einer Wassersäule von 40 mm

AP6 (Prozessentwicklung mit entwickelter Schneidoptik): Es konnten erste Versuche mit Laserleistungen bis zur anvisierten Höchstleistung von 4 kW durchgeführt werden (Abbildung 5). Aktuell wird der Spiegel für die 45°-Umlenkung optimiert, da es beim Betrieb mit hohen Leistungen zu einer starken Absorption von Leistung am Spiegel kommt, die bei längerer Bestrahlung zu dessen Zerstörung führen kann. Für die Anwendung optimierte Spiegel werden noch im Juli fertiggestellt und die Reflektivität auf über 99% anheben.

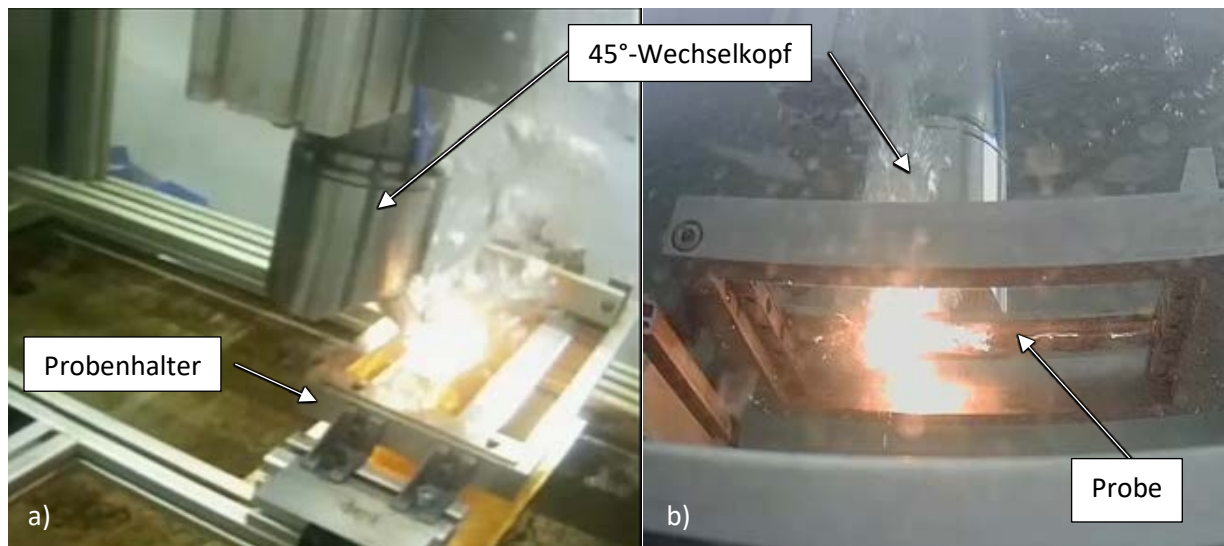


Abbildung 5: Schnitt mit der entwickelten Schneidoptik und dem 45°-Wechselkopf aus AP4 mit einer Laserleistung von 4 kW, a) seitliche Ansicht, b) Ansicht von vorne/unten

AP7 (Emissionsanalyse): Es wurden Probenahmen von Luft und Wasser während der Schneidprozesse von 1.4301 und Zircaloy durchgeführt. Lieferdatum der Analyseergebnisse erfolgt bis Ende Juli.

4. Geplante Weiterarbeit

AP5 (Lasersicherheit): Der Aufbau für die Leistungsmessungen wird optimiert, da bei der aktuellen Anordnung Reflektionen an der Wasseroberfläche sowie der Einfluss von Wasserdampf nicht ausgeschlossen werden können. Der Versuchsumfang wird bis 4 kW Laserleistung ausgeweitet.

AP6 (Prozessentwicklung mit entwickelter Schneidoptik): Die Schneidoptik wird aktuell weiter im Labormaßstab anhand von Vergleichen mit den Ergebnissen aus AP3 getestet und validiert.

AP9 (Validierung des Laserstrahlschneidens im Tauchbecken (4-6 m Wassertiefe): Im September/Oktober wird die neu entwickelte Schneidoptik in größeren Wassertiefen eingesetzt und validiert. Hierbei soll der Einfluss der Wassertiefe auf die Schneidergebnisse sowie die Dichtigkeit der Schneidoptik untersucht werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es liegt bislang kein Bezug zu anderen Vorhaben vor.

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

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

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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)

Aktuell läuft am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) die Überprüfung des Versuchstandes (AP2). Parallel hierzu wird AP4 bearbeitet.

AP2: Aufbau eines Versuchstandes nach Bauplan

Ausgehend von dem im AP1 erstellen Bau- und Montageplan wurde mit der Fertigung und dem Aufbau des Versuchstandes in der Versuchshalle am TMB begonnen. Die Arbeiten umfassten u.a. die Fertigung diverser Sonderbauteile, die Erstellung von Schaltplänen zur Ansteuerung der einzelnen Motoren sowie die Auswahl und Installation der Messtechnik. Nach Fertigstellung der Arbeiten am Versuchstand läuft aktuell die Überprüfung der Funktionalität mittels ersten Praxisversuchen handelsüblicher Trennwerkzeuge (Validierungsexperimente).

Zeitgleich zu den Arbeiten am Versuchstand wurden Angebote für verschiedene Rohre, die als Probekörper in der Versuchsdurchführungen dienen, eingeholt. Basierend auf den Ergebnissen von AP1 haben sich NIS und TMB darauf geeinigt vorerst Rohre im Durchmesserbereich DN200 - 300 mit Wanddicken bis 10mm zu testen. Sobald sich zeigt, dass die ersten Testreihen in diesem Durchmesser- und Dickenbereich erfolgreich sind, werden die Abmessungen der weiteren Probekörper an die Ergebnisse aus AP1 angepasst. Die erste Testreihe wird mit Edelstahlrohren (Werkstoffnummer: 1.4541) und warmfesten Stählen (Werkstoffnummer: 1.0345) begonnen und anschließend auf weitere Werkstoffe ausgeweitet. Es wurden sowohl nahtlose als auch geschweißte Rohre bestellt, um zu untersuchen ob Unterschiede zwischen diesen beiden Ausführungen bei der Rohrintrennung bestehen. Um einbetonierte Hüllrohre, z.B. bei Gebäudeübergängen, trennen zu können, wird derzeit ein erster einbetonierter Probekörper vorbereitet und hergestellt.

Zusätzlich erfolgte die Auswahl der Sägeblätter, Schleifscheiben und Frässscheiben für die 1. Testreihe.

AP4: Experimentelle Versuchsreihe

Zu Beginn von AP4 wurde ein Versuchsplan, der u.a. die Variation der Drehzahl, Vorschubgeschwindigkeit und Umfangsgeschwindigkeit zulässt, mit Hilfe der Datenanalysesoftware „JMP“ erstellt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP4: Experimentelle Versuche (1. Testreihe)

In den nächsten Monaten wird die experimentelle Versuchsreihe (1. Testreihe) durchgeführt und die Ergebnisse ausgewertet. Ziel ist es, die wesentlichen Einflussparameter für den Werkzeugdemonstrator zu bestimmen. Es muss u.a. untersucht werden, welches Trennverfahren sich am besten zur Rohrintrennung eignet und wie sich die Variation der Drehzahl, Vorschubgeschwindigkeit etc. auf den Trennprozess, das Verschleißverhalten und die Kraftübertragung auswirkt. Zudem gilt es zu analysieren, ob Unterschiede zwischen nahtlosen und geschweißten Rohren bzw. zwischen den verschiedenen Werkstoffen bestehen.

Eventuell müssen noch Optimierungen am Versuchstand vorgenommen bzw. weitere Sensorik ausgewählt und montiert werden. Dies zeigt sich jedoch erst während der Durchführung der 1. Testreihe bzw. der anschließenden Datenauswertung.

AP6: Praktische Testreihe (2. Versuchsreihe) unterschiedlicher Betriebsparameter

Im Anschluss an die 1. Testreihe soll die 2. Versuchsreihe mit dem entwickelten Werkzeugdemonstrator von NIS erfolgen.

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) vorgesehen.

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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)

Zurzeit wird bei Siempelkamp NIS Ingenieurgesellschaft mbH AP3 bearbeitet. Die Vervollständigung der Ermittlung der Grenzen beim Einsatz des Rohrintrenners (aus AP1) erfolgt ebenfalls im Rahmen der Bearbeitung des AP3.

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

Zunächst wurden, auf Grundlage der in AP1 erarbeiteten Anforderungen, die zur Vorplanung notwendigen Betriebsparameter festgelegt. Hierzu wurden unter anderem auch Daten aus bereits bekannten Verfahren herangezogen. Diese Betriebsparameter werden später, auf Basis der am KIT laufenden Versuche, bei Bedarf angepasst.

In einem ersten Entwurf des Antriebs-, Befestigungs- und Trägersystems wurde die Umsetzung des Einsatzes des Rohrintrenners für Rohrleitungen mit DN 100 untersucht. Diese Untersuchung zeigte, dass ein Einsatz in dieser Größenordnung möglich ist, allerdings einen hohen Fertigungsaufwand erfordert, da nur wenige Standardkomponenten verwendet werden können.

Im zweiten Ansatz wurde die Entwicklung, entsprechend des Versuchsstandes am KIT, im Bereich DN 200 bis DN 300 gestartet. Auf Grundlage des ersten Entwurfs wurde die Konstruktion den Geometriedaten angepasst. Durch den größeren, für die Konstruktion zur Verfügung stehenden Raum können Standardkomponenten verwendet und Bauteile vereinfacht werden. Es wurden Informationen zu Normteilen, Standardbauteilen bzw. Standardbaugruppen eingeholt und deren Verwendbarkeit für den Rohrintrenner geprüft.

Bei der konstruktiven Entwicklung des Demonstrators sind auch die Einsatzmöglichkeiten bei der späteren Versuchsdurchführung am KIT eingeflossen.

Es wird, auf Grund des möglichst weiten Anwendungsbereichs und einer flexiblen Anpassung an die jeweiligen Gegebenheiten, eine Modulbauweise angestrebt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP4: Experimentelle Versuche (1. Versuchsreihe) zur Wahl des Schneidwerkzeugs

In AP4 wird zunächst ein Versuchsplan aufgestellt. Dieser beinhaltet Versuche, die der Optimierung bzw. Validierung der in AP3 entwickelten Systeme zum Antrieb, zur Zustellung und der Aufbringung der Schnittkräfte dienen. In Zusammenarbeit mit dem TMB erfolgt dann die Wahl des Schnittwerkzeugs. Je nach Wahl des Spanverfahrens werden die Geometrieparameter analysiert. Des Weiteren wird das Verschleiß- und Reaktionsverhalten verschiedener Bauteile (z. B. Verbindungsglieder) ermittelt.

Ziel ist die Optimierung und Validierung des entwickelten Teilsystems.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9409A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V.	
Vorhabenbezeichnung: VP:Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen TP:Berechnung der Neutronenfluenzverteilung in reaktornahen Bauteilen und deren Validierung an Experimenten als Basis der Aktivitätsrechnungen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2018 bis 30.11.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 754.606,65 €
Projektleiter/-in: Jörg Konheiser	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: j.konheiser@hzdr.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

In diesem Teilvorhaben werden die dafür benötigten genauen 3D Neutronenfluenzrechnungen durchgeführt. Für solche Simulationen mit komplizierten Geometrien ist die Monte-Carlo Methode ein anerkanntes Verfahren. Zum Einsatz im Projekt kommt deshalb hauptsächlich das international viel verwendete Programm MCNP6. Für das Erstellen des Geometriemodells werden Originalkonstruktionsunterlagen verwendet. Als Referenzkraftwerk wird 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). AP 1 (teilweise), 2 und 3 werden in diesem und AP 4 und 5 im anderen Teilprojekt bearbeiten.

AP 1: Erstellung des Geometriemodells

AP 2: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung und deren Spektren

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

AP 3: Neutronenfluenzmessungen

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 1: Die radiale Modellierung bis zur Außenwand der biologischen Abschirmung ist abgeschlossen. Vertikal umfasst das Modell ca. 25 Höhenmeter, beginnend im Fundament und endet an der Abdeckung des Poolraumes oberhalb des Reaktors. Für die Rechnungen der zweiten Referenzanlage musste die Pinstruktur angepasst werden.

AP 2: Auf Basis der Zyklusdaten wurden für ein Referenzkraftwerk Neutronenfluenzrechnungen durchgeführt und mit Messungen verglichen. Der Vergleich ergab eine gute Übereinstimmung der berechneten Aktivitäten mit den gemessenen. Die C/E Verhältnisse (Calculation/Experiment) liegen zwischen 0.8 und 1.4. Die größten Unterschiede traten im Bereich oberhalb der Kernmittelebene auf. Der Grund konnte noch nicht geklärt werden.

Für die Wirkungsquerschnittsberechnungen liegen jetzt alle Neutronenspektren vor. Außerdem wurden für die RWTH Aachen die Neutronenfluenzverteilung in einem sehr feinen Gitter mit der Schrittweite von 10 cm berechnet. Diese Rechnungen waren trotz des Einsatzes von unterschiedlichen Gewichtsdatensätzen sehr zeitintensiv.

AP 3. Im Januar 2020 wurden 19 Neutronenfluenzmonitore aus dem Referenzkraftwerk 2 nach einem halben Zyklus entfernt und mittels Gammaskopimetrie die Aktivierung der Metallfolien bestimmt. Für beide Referenzkraftwerke wurden je ca. 100 neue Neutronenfluenzmonitorsätze vorbereitet. Im Referenzkraftwerk 1 wurden diese während der Revision innerhalb und außerhalb der biologischen Abschirmung verteilt. Die im Jahr zuvor ausgebrachten Monitorsätze wurden gleichzeitig geborgen. Die Monitorsätze für das Referenzkraftwerk 2 wurden dem Personal vor Ort übergeben, welches die Bergung der vorherigen und Ausbringung der neuen während der Revision selbst übernimmt.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Für die Berechnung der Monitore, die im Dampferzeugerraum bestrahlt werden, ist die Erweiterung des Modells um diesen Bereich notwendig. Entsprechend wird das Modell erweitert.

AP 2: Berechnung der Quellen für die Zyklen 2020-2021 der Referenzanlagen, anschließend entsprechende Neutronenflussrechnungen und deren Validierung an den Experimenten.

AP 3: Bestimmung der Aktivierung der Monitorsätze aus beiden Referenzanlagen mittels Gammaskopie und LSC.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

WERREBA Projekt

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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 reaktornahen Beton- bzw. Konstruktionselemente berechnet. Damit wäre eine zerstörungsfreie und frühzeitige radiologische Charakterisierung von Gebäudeteilen im Bereich des Reaktorkerns möglich. Ein weiteres Ziel des Projektes ist die Bestimmung des aus der Aktivierung resultierenden Strahlenfelds, welches schließlich den radiologischen Status einer Rückbaumaßnahme definiert und einen zentralen Aspekt beim Rückbau eines Kernreaktors darstellt.

Das vorliegende Forschungsprojekt verfolgt drei wesentliche Ziele:

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

Der Titel des Teilprojektes der RWTH Aachen lautet:

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- AP 1: Erstellung des Geometriemodells
- AP 2: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung und deren Spektren
 - 2.1: Neutronenquelltermberechnungen
 - 2.2: Berechnung der Verteilung
- AP 3: Neutronenfluenzmessungen zur Modellvalidierung
- AP 4: Berechnung der Aktivitätsverteilung
 - 4.1: Erstellung anlagenspezifischer Aktivierungsquerschnittsdateien
 - 4.2: Berechnung der Aktivitätsverteilung in den einzelnen Strukturen
- AP 5: Bestimmung der Ortsdosisleistungverteilung (ODL)
 - 5.1: Bestimmung der Energie- und ortsabhängigen Strahlenquellterme
 - 5.2: Simulation des Strahlenfelds und der ODL-Verteilung

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 4.1: Programmroutine für Aktivierungswirkungsquerschnitte

Die Grundlage der 3D-Aktivierungs- sowie Strahlungsquelltermberechnungen ist die Erstellung einer anlagenspezifischen Aktivierungswirkungsquerschnittsbibliothek (WQ-BIB: Vor-Konvoi), die mit Hilfe der Programmroutine WQGEN (Wirkungsquerschnittsgenerator) generiert wurde. Die Erstellung der WQ-BIB: Vor-Konvoi für das gesamte Anlagenmodell wurde in dem letzten Berichtszeitraum mit den bereitgestellten Neutronenspektren aus AP 2, welche den RDB, die thermische Isolierung und den Biologischen Schild umfassen, erfolgreich abgeschlossen.

AP 4.2: Aktivitätsberechnungsroutine

Da die Programmroutine AKT-TOOL zur Bestimmung der 3D-Aktivitätsverteilung aus mehreren Programmteilen unter anderem WQGen & PTRACMapper besteht, wurde ein erweiterter Funktionstest des Programmpakets am Beispiel von Referenzdaten durchgeführt. Des Weiteren erfolgte nach entsprechender modellhafter Anpassung ein Funktionstest der PTRAC-Routine, welche für eine genaue Beschreibung der Materialzusammensetzung der einzelnen Komponenten und deren Zuordnung zu den einzelnen Geometriezellen der Anlage notwendig ist. Da die N-Fluenzverteilung aus Teilprojekt 1 (TP-1) für ein 90°-Modell verfügbar sein wird, wurde im Rahmen dieses Arbeitspakets an der Entwicklung eines numerischen Algorithmus zur Erweiterung der N-Fluenzverteilung auf ein 360°-Modell gearbeitet.

AP 5.1: Bestimmung der Verteilung der Strahlungsquellterme

Im letzten Berichtszeitraum wurde an der Entwicklung einer aktualisierten Photonendatenbibliothek unter Zugrundelegung der aktuellen nuklearen Grunddaten aus ENDF/B-VII.1 gearbeitet. Im Rahmen eines detaillierten Vergleichs zwischen den nuklearen Grunddaten aus ENDF/B-VII.1 und dem Programmsystems SCALE zugrunde gelegten

Photonenemissionsdaten (basierend auf ENDF/B-VII.1) zeigte sich, dass die Aktivierungsroutine des Programmsystems SCALE nicht die gesamten in ENDF/B-VII.1 vorhandenen Daten berücksichtigt. Vor diesem Hintergrund erfolgte ein weiterer Vergleich zwischen den internationalen Datenbanken ENDF/B-VII.1, JEFF 3.1 und JEFF 3.3. Mit dem Ergebnis des Vergleichs und anschließender Kombination der Datenbanken wurde der Isotopenvektor bezüglich der Photonemissionsdaten erweitert.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP-4.1: Erstellung Datenbibliothek (WQ-BIB: Vor-Konvoi)

Die Erstellung der vollständigen Datenbibliothek WQ-BIB:Vor-Konvoi wurde im letzten Projektzeitraum abgeschlossen. Da bei der Aktivitätsberechnungen neben WQ-BIB:Vor-Konvoi auch Daten über die Zerfallsprozesse und –kette der einzelnen Aktivierungsprodukte benötigt werden, wird in der nächsten Projektphase an der Erstellung einer erweiterten Zerfallsdatenbibliothek (DEC-BIB), basierend auf der aktuellen nuklearen Grunddatenbank ENDF/B-VII.1, gearbeitet. Die Kopplung der beiden Datenbibliotheken für ORIGEN-Anwendungen erfolgt im Anschluss an eine Verifizierungsmaßnahme bzw. Datenanalyse für ausgewählte Aktivierungsprodukte.

AP 4.2: Aktivitätsberechnungsroutine

Für die nächste Projektphase sind zunächst die Entwicklung und Anwendung eines numerischen Algorithmus zur Erweiterung der auf dem 90° Modell basierten N-Fluenzverteilung (aus AP 2.1) auf ein 3D 360°-Modell geplant. Mit der erweiterten 3D-Fluenzmatrix, basierend auf dem 360° Modell des NET, werden zellweise PTRAC-Rechnungen, durchgeführt. Anschließend wird mit Hilfe der Programmroutine PTRACMapper eine genaue Materialbeschreibung der einzelnen Gitterelemente und deren Zuordnung zum 3D-Anlagenmodell (360°-Modell) ausgeführt. Auf der Grundlage der generierten Input-Dateien und Einbindung der zellweisen N-Fluenzwerte wird die erste ortsabhängige 3D-Aktivitätsberechnung (nuklidspezifisch) mit Hilfe von AKT-Tool unternommen. Des Weiteren erfolgt die Weiterentwicklung eines Visualisierungskonzepts zur 2D/3D-Darstellung der nuklidspezifischen Aktivitätsverteilung.

AP 5.1: Bestimmung der Verteilung der Strahlungsquellterme

In der nächsten Projektphase ist die Fertigstellung des energieabhängigen Strahlungsquellterms für jedes Volumenelement im gesamten Gitternetz des Reaktormodells geplant. Die Erstellung der Quelltermdatei basiert auf den Ergebnissen der 3D-Aktivitätsberechnungen (AP 4) und der generierten Photonendatenbibliothek. Die Datei ist der Ausgangspunkt für die Strahlungstransportsimulationen mit MCNP im 3D-Geometriemodell des Reaktors. Des Weiteren erfolgt die Weiterentwicklung eines Visualisierungskonzepts zur 2D/3D-Darstellung der energieabhängigen Quelltermverteilung.

AP 5.2: Simulation des Strahlenfelds und der ODL-Verteilung

Um das 3D-Strahlungsfeld und die Ortsdosisleistungsverteilung im gesamten Reaktormodell mit dem Simulationscode MCNP zu berechnen, müssen energieabhängige Photonenquellstärken (spektrale Intensitätsverteilung) auf Basis der einzelnen Emissionswahrscheinlichkeiten vorbereitet werden. Im nächsten Projektzeitraum wird das strahlenphysikalische MCNP-Modell des Vor-Konvoi-Reaktors für die Simulation des Strahlen-transport entwickelt.

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

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

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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

AP 1.: Extraktion von Proben aus dem RDB/Reaktordeckel/Betonabschirmung

AP 2.: Experimentelle Bestimmung der Aktivitäten

AP 3.: Strukturelle Charakterisierung des Radionuklidinventars

AP 4.: Berechnung der Neutronenfluenz- und Aktivitätsverteilungen

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 1: Auf Grund der durch die Covid-19 Pandemie erlassenen Einschränkungen bzw. Auflagen konnten seitens EWN keine Gespräche mit der Behörde geführt werden und somit wurde auch keine abschließende Genehmigung sowohl für den Transport der Proben aus dem Reaktordeckel als auch für die Kernbohrungen aus der Abschirmung erteilt. Die Gespräche werden jetzt im Juli geführt.

AP 2: Die Arbeiten zu diesem Punkt mussten wegen der Schließung der Laborräume unterbrochen werden und konnten nicht fortgeführt werden. Die Mitarbeiter haben die Zeit genutzt und haben ein intensives Literaturstudium und Recherche durchgeführt. Ein Ergebnis ist, dass die Bestimmung der Niobaktivität jetzt durch das VKTA erfolgt. Einerseits ist der experimentelle und gerätetechnische Aufwand sehr hoch und andererseits ist die Bestimmung nur bei den vier Proben aus der Plattierung mit einer Nb-Konzentration von 0.5% sinnvoll. Das VKTA hat bereits in früheren Projekten diese Bestimmung durchgeführt und verfügt deshalb sowohl über das entsprechende Equipment als auch Erfahrung.

AP 3: Proben von inaktiven Betonbohrkernen aus anderen rückgebauten Kernreaktoren wurden für μ -CT, Quecksilber-Intrusionsporosimetrie, BET, REM und Raman-Spektroskopie vorbereitet. μ -CT und Mikroskop-Raman-Spektroskopie-Messungen wurden an 3 kleinen Bohrkernen ($\emptyset \sim 5.5$ mm, $d = 1-2$ mm) durchgeführt. Diese Proben und eine Betonpulverprobe wurden an dem Referenzkraftwerk 2 (EMPRADO) als Neutronenquelle platziert, um den Einfluss von Neutronenstrahlungsschäden an Silikatstrukturen im Beton zu untersuchen. An inaktiven RDB-Stahlproben aus Block 8 des KKW Greifswald, welcher nie in Betrieb war, wurde Oberflächenanalytik mit AFM und SEM-EDX durchgeführt. Die Ergebnisse dienen als Referenz, um mit diesen Methoden zu untersuchen, wie die Mikrostruktur des Stahls durch Neutronenaktivierung beeinflusst wird.

AP 4: Zum Test des MCNP-Modells des WWER-440 wurden mehrere Vergleichsrechnungen durchgeführt. Grundlage waren zum einen ein Experiment, bei dem in der Kampagne 1984/85 Aktivierungsdetektoren an der Außenseite des Reaktordruckbehälters des Block 3 des Kernkraftwerks Greifswald bestrahlt wurden, zum anderen Materialproben aus Reaktordruckbehältern, für die 2018 von einem akkreditierten Labor (VKTA) Aktivitäten langlebiger Radionuklide gemessen wurden. Die Vergleichsrechnungen sind noch nicht abgeschlossen. Zusätzlich hat sich auch weiterer Untersuchungsbedarf ergeben.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Es kann angenommen werden, dass die Genehmigung zum Transport der Proben aus dem Reaktordeckel nun im Sommer 2020 erteilt wird und diese zum HZDR transportiert werden können. Das gleiche trifft für die Betonbohrkerne zu.

AP 2: Mit dem Auslaufen der Einschränkungen im Laborbetrieb können die Arbeiten zu diesem AP entsprechend dem Plan wiederaufgenommen werden. Die Betonbohrkerne werden zerkleinert und für die radiochemischen Analysen vorbereitet und anschließend die enthaltenen Radionuklide qualitativ und quantitativ bestimmt. Die RDB- und Reaktordeckel-Stahlproben werden ebenfalls radiochemisch getrennt und die Aktivitäten mittels Gammaskopimetrie und LSC quantitativ bestimmt.

AP 3: Für mikroskopische und spektroskopische Untersuchungen werden ausgesuchte Betonproben vorbereitet und anschließend untersucht. Die inaktiven Referenzbetonproben werden weiter zum Testen der Methoden und als Referenz für die aktivierten Betonproben mittels μ -CT, Quecksilber-Intrusionsporosimetrie, BET, REM und Raman-Spektroskopie

untersucht. Die Oberflächenanalytik mit AFM und SEM-EDX soll an aktivierten RDB-Stahlproben durchgeführt werden.

AP 4: Die Vergleichsrechnungen mit früheren Experimenten und Analysen werden abgeschlossen und zusätzlich mit bereits vorhandenen Ergebnissen von TRAMO und DORT Rechnungen verglichen. Außerdem werden die Rechnungen mit dem neuen TRAMO Programm abgeschlossen. Wenn entsprechende experimentelle Daten vorliegen kann das MCNP-Modell im Bereich des Reaktordeckels und des biologischen Schildes validiert werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

EMPRADO Projekt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Abstract über Porositätsuntersuchungen von Beton wurde als Posterpräsentation für die GDCh 3rd International Conference of the Chemistry of Construction Materials, Karlsruhe, März 2021, angenommen.

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- AP1: Projektkoordination und Administratives
- AP2: Bereitstellung und Charakterisierung von Beton aus kerntechnischen Anlagen
- AP3: Untersuchungen zur Verifizierung der Kontaminationsverteilung in radioaktiv kontaminierten Betonproben
- AP4: Aufbau der Versuchsanlage zur Elektroimpulszerkleinerung, Durchführung von Versuchen zur Separation an synthetischen und realen Betonproben
- AP5: Untersuchungen zur Behandlung des Prozesswassers
- AP6: Experimentelle Untersuchungen zur Konditionierung der erhaltenen Stofffraktionen

AP7 Stoffstrom-/Radionuklidbilanzierung, Verfahrensbewertung, Fortschreibung Verwertungskonzept

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

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

- AP1: Die Aktivitäten zu AP 1 erfolgten planmäßig. Das 2. Projektmeeting wurde wie geplant im Februar 2020 in Dresden durchgeführt.
- AP2: Unter Verwendung von Zement CEM IIA LL wurden Betonmischungen mit Wasser-Zementwerten von 0,45 und 0,67 hergestellt und daraus Prüfkörper für eine vergleichende Charakterisierung gefertigt. Die Prüfkörper entsprachen zwar hinsichtlich der Festigkeitskennwerte und bzgl. der Porenradienverteilung i.W. den Betonen aus den kerntechnischen Anlagen, in der Zusammensetzung der Mineralphasen traten aber Abweichungen auf. Dies kann auf das unterschiedliche Alter und heute so nicht mehr beschaffbare Zuschlagstoffe zurückzuführen sein (Alter: 40 d frisch gefertigte Proben / ca. 40 -60 a bei realen Proben). Nachfolgend wurden weitere Prüfkörper mit gleichen Mischungsverhältnissen für erste Untersuchungen beim Verbundpartner gefertigt und zur Verfügung gestellt.
- AP3: Die behördliche Zustimmung zur Durchführung der Untersuchungen mit radioaktiv getracertem Beton liegt inzwischen vor und die entsprechenden Radionuklide wurden beschafft. In Vorbereitung der Versuchsreihen mit radioaktivem Beton wurden zunächst Untersuchungen zur Verifikation der Tracerverteilung an den Hauptfraktionen der Betone durchgeführt und die Verteilungskoeffizienten sowie die Desorption in Abhängigkeit vom Alterungszustand der Proben bestimmt. Auf Basis von derzeit ca. 100 Analysen konnte die Arbeitshypothese bestätigt werden, dass die Bindung der Tracerelemente in der Hauptsache an den Zementstein erfolgt. Die Verteilungskoeffizienten flüssig/fest unterscheiden sich dabei je nach chemischem Element erheblich. Cäsium zeigt dabei teilweise ein von anderen Tracerlelementen (Co, Eu, Sr) abweichendes Verhalten. Die chemischen Untersuchungen zur Phasenverteilung sind für die Probenreihen mit längerer Kontakt- und Aushärtezeit (6 Monate) noch nicht erfolgt. Insofern war im Berichtszeitraum auch noch keine abschließende Auswertung möglich.
- AP4: Das Arbeitspaket wird federführend durch den Verbundpartner ImpulsTec GmbH bearbeitet. Es fanden technische und strahlenschutztechnische Abstimmungen zur Aufstellung und zum Betrieb einer Laboranlage im Radionuklidlabor des IKTS statt. Eigene experimentelle Arbeiten zu diesem Arbeitspaket 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 September 2020 geplant.

AP2: Die Untersuchungen sind im Wesentlichen abgeschlossen

AP3: Die Untersuchungen werden unter Verwendung von Radioisotopen (Cs-137, Co-60, Eu-152, Sr-90) fortgesetzt. Weiterhin sind entsprechende Untersuchungen zur Radionuklidverteilung auf mineralische Hauptbestandteile an realen Betonproben aus dem KKW Stade und von VKTA Rossendorf e.V. vorgesehen. Diese Untersuchungen werden sich noch bis mindestens Jahresende 2020 erstrecken.

AP4: Die Umsetzung einer Versuchsanlage zur elektrohydraulischen Fragmentierung wird weiter vorbereitet.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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: Im Berichtszeitraum wurde die Konstruktion eines optimierten Versuchsreaktors für das Zerlegen von Betonproben in Zementstein und Kies fortgeführt. Nach dem Abschluss der Auslegung wurde die Komponenten in die Realisierung überführt. Weiterhin wurde die Planung einer temporären Versuchsanlage für den Aufschluss kontaminierter Betonproben beim Projektpartner Fraunhofer IKTS vorangetrieben. Neben den baulichen Anforderungen stehen vor allem die Restriktionen hinsichtlich des Strahlenschutzes und der Auslegung eines entsprechenden mobilen Teststandes im Vordergrund. Der mobile Teststand soll dann im weiteren Projektverlauf am Fraunhofer IKTS installiert und für die Behandlung von radioaktiven Betonmuster verwendet werden.
- AP3: Die Arbeiten zur systematischen Untersuchung des Betonaufschlusses mit unterschiedlichen Pulsenergien wurden gestartet. Erste Versuche mit Proben aus Stade zeigten eine ähnliche Korngrößenverteilung (siehe nachfolgende Abbildung) bei den verschiedenen Pulsenergien. Einzig bei der kleinen Pulsenergie treten deutliche Unterschiede auf. So wurde der Kies deutlich stärker beansprucht, was der geringe Anteil der Grobfraktion $>2,5$ mm verdeutlicht. In Bezug auf den Aufschlussgrad zwischen Kies und Zementstein sehen die verschiedenen Einstellungen ebenfalls sehr ähnlich aus. Im nächsten Schritt sollen die Untersuchungen mit unterschiedlichen Betonproben fortgeführt und ausgewählte Proben quantifiziert werden.

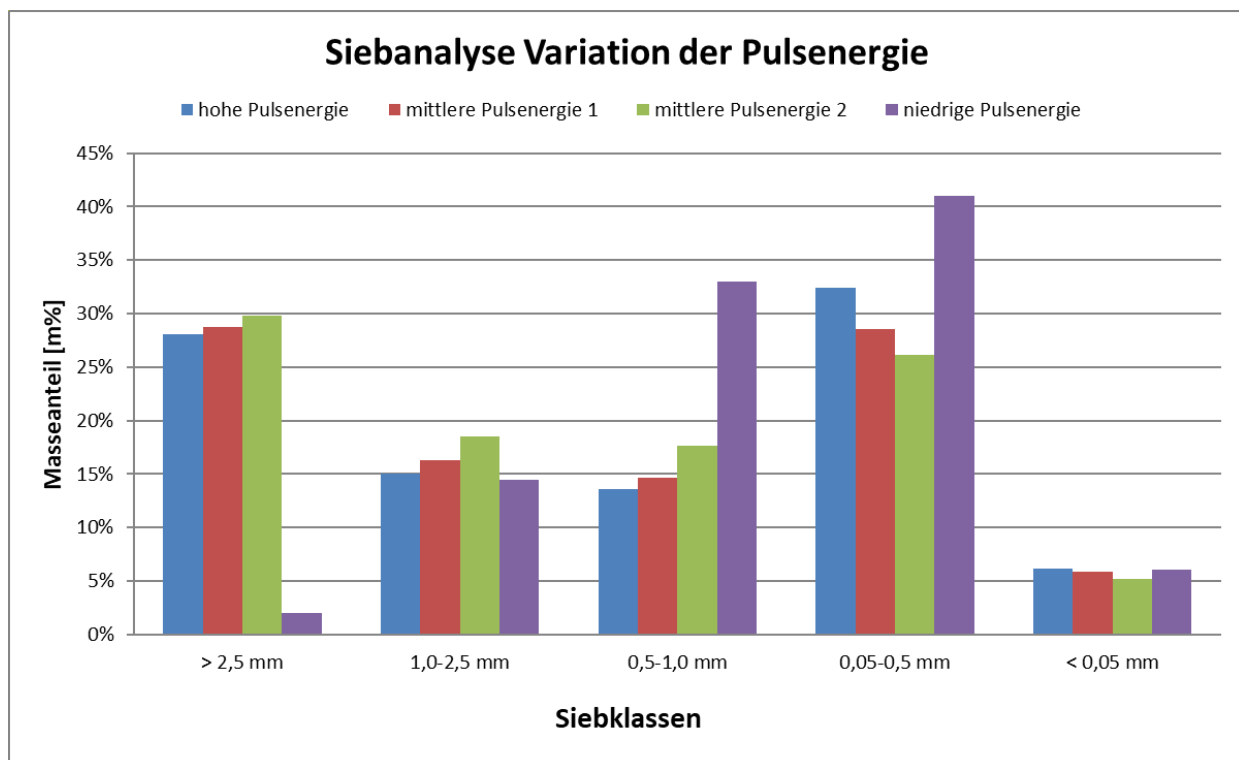


Abbildung 6: Siebanalyse Versuchsreihe Variation der Pulsenergie

AP6: Eine Bearbeitung war im Berichtszeitraum nicht vorgesehen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Geplant ist die Umsetzung des Versuchsreaktors und die Finalisierung des Konzeptes der Versuchsanlage für den Aufschluss kontaminierter Betonproben beim Fraunhofer IKTS.

AP3: Die Arbeiten zur Entwicklung des Aufschlussprozesses für verschiedene Betonproben sollen fortgeführt werden.

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

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

-keine-

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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

- AP 1 (01.08.19-31.12.19): Grundlagenanalyse von Ecken, Kanten, Störstellen sowie Geräteauswahl
- AP 2 (01.01.20-31.05.20): Konzeption und Aufbau des Versuchsstandes sowie Probekörpererstellung
- AP 3: (01.05.20-31.08.20): Vorversuche mit ausgewählten Geräten (1. Versuchsreihe)
- AP 4: (01.06.20-31.10.20): Analyse und Evaluation der Messdaten aus der 1.Versuchsreihe; Vergleich und Bewertung der ausgewählten Geräte
- AP 5: (01.10.20-31.03.21): Entwicklung und Anfertigung des Versuchsmusters
- AP 6: (01.10.20-31.03.21): Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 7: (01.03.21-30.04.21): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme des Versuchsmusters

- AP 8: (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
- AP 9: (01.09.21-31.12.21): Versuchsmuster-Verbesserung und Durchführung der praktischen Testreihe
- AP 10: (01.01.22-30.04.22): Versuche vor Ort
- AP 11: (01.05.22-31.07.22): Dokumentation und Evaluation

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

Während des Berichtszeitraumes sind im Wesentlichen die Arbeiten des Arbeitspaketes 2 „Konzeption und Aufbau des Versuchsstandes sowie Probekörpererstellung“ in enger Zusammenarbeit zwischen KIT-TMB und HTWG durchgeführt worden. Durch die Corona-Pandemie waren die Arbeitsprozesse, insbesondere auch mit externen Zulieferfirmen, temporär eingeschränkt bzw. verzögert.

Der Prüfstand wurde nach den Regeln des methodischen Konstruierens konzipiert, gestaltet, detailliert dokumentiert und schließlich am TMB-KIT aufgebaut.

Hierfür wurden Angebote für die Materialien und Zukaufkomponenten eingeholt und diese beschafft.

Auf Basis der zu bestimmenden Parameter Kraft- und Momentenvektor der Werkzeugführung wurde die Messtechnik ausgewählt, dimensioniert und im Anschluss daran beschafft.

In enger Zusammenarbeit mit der HTWG wurde eine Probekörpergeometrie geplant, die möglichst viele Innenkanten aufweist.

Die Messtechnik als auch die von einem Motor angetriebene Lineareinheit wurden aufgebaut, in Betrieb genommen und für die Automatisierung der Versuche eine Benutzeroberfläche für die Datenerfassung via LabVIEW entwickelt.

Zum sicheren Betrieb der Messeinheit (Lineareinheit mit Sensorik) des Versuchsstands wurde weiterhin ein Elektro-Schaltschrank geplant, Komponenten beschafft und dieser in Betrieb genommen.

Da es während der Versuche zu einer erhöhten Staubentwicklung kommt und der Bediener während der Versuche vor den Geräten geschützt werden soll, wurde eine Einhausung für den Versuchsstand geplant.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2:

Das KIT-TMB baut gemeinsam mit der HTWG die Lineareinheit in die Stahlkonstruktion ein. Der Versuchsstand wird danach in Betrieb genommen. Die Einhausung des Versuchsstands wird gebaut.

AP 3:

Am KIT-TMB werden erste Vorversuche durchgeführt.

AP 4:

In Zusammenarbeit von KIT-TMB und der HTWG sollen die Ergebnisse analysiert werden. Die Geräte sollen nach Abtragsart bewertet werden. Die Anforderungen an den zu entwickelnden Demonstrator sollen bestimmt werden.

AP 5:

Die Projektpartner HTWG, KIT-TMB und Contec GmbH beginnen mit der Entwicklung neuer Geräte zur Bearbeitung von Innenkanten.

AP 6:

Die Contec GmbH entwickelt parallel zur Geräteplanung eine lokale Einhausung und Absaugung für dieses Gerät.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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 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

- AP 1 (01.08.19-31.12.19): Grundlagenanalyse von Ecken, Kanten, Störstellen sowie Geräteauswahl
- AP 2 (01.01.20-31.05.20): Konzeption und Aufbau des Versuchsstandes sowie Probekörpererstellung
- AP 3: (01.05.20-31.08.20): Vorversuche mit ausgewählten Geräten (1. Versuchsreihe)
- AP 4: (01.06.20-31.10.20): Analyse und Evaluation der Messdaten aus der 1.Versuchsreihe; Vergleich und Bewertung der ausgewählten Geräte
- AP 5: (01.10.20-31.03.21): Entwicklung und Anfertigung des Versuchsmusters
- AP 6: (01.10.20-31.03.21): Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 7: (01.03.21-30.04.21): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme des Versuchsmusters

- AP 8: (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
- AP 9: (01.09.21-31.12.21): Versuchsmuster-Verbesserung und Durchführung der praktischen Testreihe
- AP 10: (01.01.22-30.04.22): Versuche vor Ort
- AP 11: (01.05.22-31.07.22): Dokumentation und Evaluation

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

AP 2:

Der Prüfstand wurde vollständig auskonstruiert und Zeichnungen abgeleitet.

Anschließend wurden Angebote für die Materialien und Komponenten eingeholt und diese beschafft.

Auf Basis der zu bestimmenden Parameter wurde die Messtechnik ausgewählt, dimensioniert und im Anschluss daran beschafft.

In enger Zusammenarbeit wurde eine Probekörpergeometrie geplant, die möglichst viele Innenkanten aufweist. Danach wurden die Schalungen für diese Probekörper gebaut und die Probekörper gegossen.

Sowohl die Messtechnik als auch die von einem Motor angetriebene Lineareinheit wurden aufgebaut, in Betrieb genommen und eine Benutzeroberfläche für die Datenerfassung via LabVIEW entwickelt.

Zum sicheren Betrieb der Lineareinheit/des Versuchsstands wurde ein Schaltschrank geplant, Komponenten beschafft und in Betrieb genommen.

Zudem wurde die Stahlrahmenkonstruktion des Versuchsaufbaus, sowie die Halterung und Führung der Lineareinheit gebaut.

Da es während der Versuche zu einer erhöhten Staubentwicklung kommt und der Bediener während der Versuche vor den Geräten geschützt werden soll, wurde eine Einhausung für den Versuchsstand geplant.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2:

Das KIT-TMB baut gemeinsam mit der HTWG die Lineareinheit in die Stahlkonstruktion ein. Der Versuchsstand wird danach in Betrieb genommen. Die Einhausung des Versuchsstands wird gebaut.

AP 3:

Am KIT-TMB werden erste Vorversuche durchgeführt.

AP 4:

In Zusammenarbeit von KIT-TMB und der HTWG sollen die Ergebnisse analysiert werden. Die Geräte sollen nach Abtragsart bewertet werden. Die Anforderungen an den zu entwickelnden Demonstrator sollen bestimmt werden.

AP 5:

Die Projektpartner HTWG, KIT-TMB und Contec GmbH beginnen mit der Entwicklung neuer Geräte zur Bearbeitung von Innenkanten.

AP 6:

Die Contec GmbH entwickelt parallel zur Geräteplanung eine lokale Einhausung und Absaugung für dieses Gerät.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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: Dipl. Ing. 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 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

- AP 1 (01.08.19-31.12.19): Grundlagenanalyse von Ecken, Kanten, Störstellen sowie Geräteauswahl
- AP 2 (01.01.20-31.05.20): Konzeption und Aufbau des Versuchsstandes sowie Probekörpererstellung
- AP 3: (01.05.20-31.08.20): Vorversuche mit ausgewählten Geräten (1. Versuchsreihe)
- AP 4: (01.06.20-31.10.20): Analyse und Evaluation der Messdaten aus der 1.Versuchsreihe; Vergleich und Bewertung der ausgewählten Geräte
- AP 5: (01.10.20-31.03.21): Entwicklung und Anfertigung des Versuchsmusters
- AP 6: (01.10.20-31.03.21): Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 7: (01.03.21-30.04.21): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme des Versuchsmusters

- AP 8: (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
- AP 9: (01.09.21-31.12.21): Versuchsmuster-Verbesserung und Durchführung der praktischen Testreihe
- AP 10: (01.01.22-30.04.22): Versuche vor Ort
- AP 11: (01.05.22-31.07.22): Dokumentation und Evaluation

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

Im 12 Februar 2020 wurde von Contec (Fabian Hammer, Kevin Dietz, Johannes Greb), nach Absprache mit den anderen Projektteilnehmern eine Konstruktion einer möglichen Eckenfräse als Diskussionsvorlage entworfen. Diese Maschine mit Diamantwerkzeugen soll auf dem im Augenblick in Konstruktion stehendem Versuchsstand als erstes getestet werden.

Im März sind wir dann nach Karlsruhe zur KIT gefahren und haben dort mit den anderen Projektteilnehmern den Entwurf besprochen und auch die Konstruktion des Versuchstandes detailliert geplant.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 5:

Die Projektpartner HTWG, KIT-TMB und Contec GmbH beginnen mit der Entwicklung neuer Geräte zur Bearbeitung von Innenkanten.

AP 6:

Die Contec GmbH entwickelt parallel zur Geräteplanung eine lokale Einhausung und Absaugung für dieses Gerät.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9416D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: SAT Kerntechnik GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten und Störstellenkontamination in kerntechnischen Anlagen	
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 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

- AP 1 (01.08.19-31.12.19): Grundlagenanalyse von Ecken, Kanten, Störstellen sowie Geräteauswahl
- AP 2 (01.01.20-31.05.20): Konzeption und Aufbau des Versuchsstandes sowie Probekörpererstellung
- AP 3: (01.05.20-31.08.20): Vorversuche mit ausgewählten Geräten (1. Versuchsreihe)
- AP 4: (01.06.20-31.10.20): Analyse und Evaluation der Messdaten aus der Versuchsreihe; Vergleich und Bewertung der ausgewählten Geräte
- AP 5: (01.10.20-31.03.21): Entwicklung und Anfertigung des Versuchsmusters
- AP 6: (01.10.20-31.03.21): Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 7: (01.03.21-30.04.21): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme des Versuchsmusters

- AP 8: (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
- AP 9: (01.09.21-31.12.21): Versuchsmuster-Verbesserung und Durchführung der praktischen Testreihe
- AP 10: (01.01.22-30.04.22): Versuche vor Ort
- AP 11: (01.05.22-31.07.22): Dokumentation und Evaluation

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

- Abstimmungen mit der FA. Contec (AP5)
 - Austausch von Informationen, Dokumenten und Ideen
- Beratungsleistungen für andere Projektteilnehmer (AP3-5)
- Start eines Rückbauprojektes (AP2)
 - In diesem Projekt werden die Wände und Böden eines Labors -abhängig von der Kontamination- abgetragen
 - Austausch von Projektleiter und -mitarbeitern
 - Erkenntnisse fließen in die Testphase des Prototyps ein

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2:

Das KIT-TMB baut gemeinsam mit der HTWG die Lineareinheit in die Stahlkonstruktion ein. Der Versuchsstand wird danach in Betrieb genommen. Die Einhausung des Versuchsstands wird gebaut.

AP 3:

Am KIT-TMB werden erste Vorversuche durchgeführt.

AP 4:

In Zusammenarbeit von KIT-TMB und der HTWG sollen die Ergebnisse analysiert werden. Die Geräte sollen nach Abtragsart bewertet werden. Die Anforderungen an den zu entwickelnden Demonstrator sollen bestimmt werden.

AP 5:

Die Projektpartner HTWG, KIT-TMB und Contec GmbH beginnen mit der Entwicklung neuer Geräte zur Bearbeitung von Innenkanten.

AP 6:

Die Contec GmbH entwickelt parallel zur Geräteplanung eine lokale Einhausung und Absaugung für dieses Gerät.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9418A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden, Helmholtzstraße 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: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Lippmann	E-Mail-Adresse des Projektleiters: wolfgang.lippmann@tu-dresden.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Projekt LaDECO sollen umfassende Erkenntnisse zu noch offenen Fragestellungen der laserbasierten Dekontamination gewonnen werden, um die Prozesssicherheit zu erhöhen 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.

Ein weiterer wesentlicher Schwerpunkt liegt in der Weiterentwicklung des Verfahrens der Dekontamination von metallischen Oberflächen. Entsprechend den in kerntechnischen Anlagen real existierenden Gegebenheiten und in Anlehnung an dort tatsächlich gemessene Nuklidvektoren werden diese Oberflächenvarianten definiert kontaminiert und der Dekontaminationsfaktor nach Laserabtrag anhand radiologischer Messungen ermittelt und optimiert.

Zur Absicherung des Einsatzvermögens von Lasertechnik unter stark radioaktiven Bedingungen werden in Kooperation mit Fraunhofer INT die optischen Komponenten in Langzeitversuchen hohen Strahldosen ausgesetzt und online die Dämpfung der Optiken ermittelt.

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: in Vorbereitung
- TUD-3: Durchführung von Versuchen auf radiologisch kontaminierten Oberflächen,
Status: Beginn der Entwicklung des Versuchskonzeptes
- TUD-4: Ausschluss der Schädigung optischer Komponenten durch radioaktive Strahlung,
Status: Auswahl an optischen Komponenten definiert, Versuchsdurchführung präzisiert, Auftrag in Arbeit
- TUD-9 Erstellung des Abschlussberichtes,
Status: nicht begonnen

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

TUD-1: Das entwickelte Konzept des Versuchstandes wurde in eine detaillierte 3D-Konstruktion überführt und sämtliche Komponenten entsprechend ausgelegt. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Entnahme der zu charakterisierenden Aerosol-Testprobe aus dem Laserprozess gelegt. Dabei ist eine Absaugung nahe dem Entstehungsort der Aerosole wichtig. Aus der Konstruktion wurden alle notwendigen Komponenten und Bauteile spezifiziert und die Beschaffung eingeleitet. Zurzeit läuft der Aufbau des Versuchstandes an der TU Dresden.

Mit dem Partikelspektrometer wurde das zentrale Messinstrument zur Bestimmung der Partikelgröße und –konzentration im Mai 2020 angeliefert. Dieses wird im nächsten Schritt in den Versuchstand integriert.

TUD-3: Es wurden die zu behandelnden Oberflächen definiert: Edelstahl, Baustahl: unbehandelt, oxidiert, verzinkt, und lackiert, die Stähle bestellt, für die Versuche portioniert und ein Teil davon definiert oxidiert. Eine Analyse der Struktur und der chemischen Zusammensetzung des Ausgangszustandes der Oberflächen ist vollzogen und dokumentiert. Anhand von Nuklidvektoren wurde eine Auswahl an Leitnukliden getroffen, mittels derer die Wirksamkeit des Laserprozesses strahlungsmesstechnisch optimiert und entwickelt werden kann. Eine genaue Planung des Auf- bzw. Eintrags der Radionuklide liegt vor. Der Abtragsprozess mit radioaktiven Bestandteilen muss in einem abgeschlossenen System durchgeführt werden, welches geplant ist und sich in der konstruktiven Aufbauphase befindet.

TUD-4: Die in einem Laser-Dekontaminationssystem mit Abstand riskanteste Komponente ist die Lichtleitfaser. Zur Bestimmung der radiologischen Beständigkeit dieser Fasern wurde mit dem Fraunhofer INT folgende Vorgehensweise ausgearbeitet: Die Faser wird hohen Dosen an Gammastrahlung (60 Gy/h) ausgesetzt. Während dessen wird eine definierte Leistung an Laserstrahlung durch die Faser transmittiert und am Faserende, nach 100 m, die ankommende Leistung gemessen. So kann eine eventuelle Dämpfung der Faser in Echtzeit

bestimmt werden. Umfangreiche Recherchen zu radiologisch induzierten Schädigungsmechanismen in optischen Komponenten bilden die Basis für die spätere Auswertung der Messungen, welche sich in Beauftragung befinden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

TUD-1: 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. Eine weitere Aufgabe wird die Evaluierung der Transporteffizienz der Partikel von der Erzeugung bis zur Messung sein. Damit lassen sich die Messergebnisse entsprechend bewerten und ggf. Korrekturen durchführen.

TUD-2: In Vorbereitung der Charakterisierung der freigesetzten Partikel wird ein Referenzlacksystem festgelegt, um die entsprechenden Metall- und Betonproben zu präparieren. Die Analyse der Betonzusammensetzung und der Lackbestandteile wird vorbereitet.

TUD-3: Erste praktische Versuche zum Laserabtrag nicht kontaminierter Metalloberflächen mit allen vereinbarten Schichtsystemen sind zur Festlegung des Parameterfensters bereits im III. Quartal geplant. Weiterhin werden zwei Verfahren zum eigenständigen Auftrag der verschiedenen Lackschichten geprüft, mit dem Ziel, sich der geforderten Schichtdicken anzunähern. Der eigenhändige (nicht professionelle) Auftrag ist zum Einbringen von Radionukliden notwendig.

TUD-4: Durchführung der Bestrahlungstests optischer Komponenten in Zusammenarbeit mit Fraunhofer INT.

TUD-4: Zeitlich noch nicht relevant.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

-

6. Berichte und Veröffentlichungen

-

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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

- AP 5: Untersuchungen zur thermischen Zersetzung von Lacken mittels berührungsloser Analytik (Status: planmäßig noch nicht begonnen)
- AP 6: Numerische Untersuchungen zur thermischen Zersetzung von Lacken und zum Partikeltransport (Status: planmäßig in Bearbeitung)
- AP 7: Konzeptionierung und Entwicklung eines Detektionssystems zur Identifizierung von Lackschichten auf Betonflächen (Status: in Bearbeitung)
- AP 8: Untersuchung zur Nachweisbarkeit von Lackschichten und -resten auf Betonflächen (Status: planmäßig noch nicht begonnen)
- AP 9: Erstellung des Abschlussberichts (Status: planmäßig noch nicht begonnen)

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

AP 6: Es wurden Voruntersuchungen zur Modellierung des Arbeitskopfes durchgeführt. Dies erfolgte zunächst am Beispiel des Metallarbeitskopfes. Hierzu wurde die vorhandene Geometrie für die Simulation angepasst und unterschiedliche Rechengitter erstellt und getestet. Ein Vergleich der Berechnung der Strömung im Arbeitskopf und einer Berechnung der Strömung der Umgebung hat gezeigt, dass der Druckverlust außerhalb des Arbeitskopfes mitberücksichtigt werden muss. Ein Modell welches auch den Vorschub des Arbeitskopfes abbilden kann wurde erfolgreich aufgebaut. Die ersten Ansätze Modellierung des Wärmeeintrages durch den Laser (Volumenquelle in der Lackschicht) sind nicht zielführend. Dazu ist eine separate Modellvorstellung zu entwickeln.

AP 7: Die Fortführung der Literaturrecherche hat die Wärmefluss-Thermografie als geeignetes Verfahren zur Detektion von Lacken auf Beton- und Metalluntergründen bestätigt. Darauf aufbauend haben die Vorversuche grundsätzlich einen guten Kontrast zwischen Lack und Beton gezeigt. Neben der grundsätzlichen Funktion des Versuchsaufbaus wurden Winkelvariationen (IR-Strahlungsquelle – Probe – Thermokamera) und verschiedene IR-Strahlungsquellen (IR-Strahler, Halogenstrahler und Blitzlampe) betrachtet. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde ein Versuchsplan zur systematischen Erfassung der Stoffparameter erstellt, passende Beschichtungskombinationen ausgewählt und Proben bestellt. Zudem wurde die Beschaffung von geeigneten Strahlungsquellen für die Hauptversuche eingeleitet und der Umbau des Versuchsstandes begonnen. Eine Software zur Auswertung der Thermografieaufnahmen wurde programmiert und kann zukünftig modular weiterentwickelt werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 5: Die Ergebnisse zur Detektion von CCl-Radikalen aus LaPLUS werden nochmals ausgewertet und auf ihre Verwertbarkeit für dieses Arbeitspaket hin überprüft. Parallel dazu erfolgt eine Literaturrecherche zu geeigneten Detektionsverfahren für das durch den Dekontaminationsprozess erzeugte Abgas. Der Versuchsstand, welcher in LaPLUS verwendet wurde, wird erneut in Betrieb genommen und für erste Vorversuche verwendet. Um die geforderte reproduzierbare Lackentzündung zu ermöglichen, wird ein neuer IR-Strahler beschafft und eingerichtet. Die Beschaffung neuer Detektionstechnik wird eingeleitet. Aufbauend auf den Ergebnissen der Vorversuche erfolgt die Planung des weiteren Vorgehens.

AP 6: Zunächst müssen die Parameter der bestehenden Modelle angepasst werden. Nach einer weiteren Optimierung kann das Modell um den Partikeltransport erweitert werden. Parallel dazu werden die Geometrie, das Gitter und die numerische Modellierung für den Betonarbeitskopf aufgebaut. Es ist ein Modell für den Wärmeeintrag durch den Laser zu implementieren. Weiterhin muss der Prozess der thermischen Lackersetzung geklärt werden. Hierzu wird zunächst eine Literaturrecherche notwendig.

AP 7: Aufbauend auf den Ergebnissen der Vorversuche wird der Versuchsstand optimiert, um die Bewertung der Oberflächengüte von Betonproben auch in den Grenzbereichen (Übergang Lack – Beton, abgeplatzter Beton und dünne Restlackschichten) zu gewährleisten.

Dafür wird u.a. der Versuchsstand umgebaut und die IR-Strahlungsquellen werden ersetzt. Die Auswertesoftware wird weiterentwickelt, um die Auswertung der Thermografieaufnahmen zu optimieren. Dies soll den Versuchsstand und die Auswertesoftware ertüchtigen, sodass in AP 8 die systematische Auswertung der bestellten Proben durchgeführt werden kann.

AP 8: Aufbauend auf dem Detektionskonzept aus AP 7 und dem daraus entwickelten Versuchsstand sollen die Proben und IR-Strahlungsquellen, die derzeit beschafft werden, systematisch vermessen werden. Auf der Grundlage dieser Messdaten wird die Auswertesoftware weiterentwickelt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.03.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9421A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWE Nuclear GmbH, Huysenallee 2, 45128 Essen	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Robotergestützte Bearbeitung von Baugruppen beim Rückbau von Kernkraftwerken - Teilvorhaben: Verfahrenstechnik und Engineering"	
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2020 bis 28.02.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 396.755,59 €
Projektleiter: Herr Jörg Recknagel	E-Mail-Adresse des Projektleiters: Joerg.Recknagel@kkw.rwe.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Gesamtzielsetzung des Verbundes:

Ziel des Projekts ist, erstmals eine automatisierte und autonome Abtragung der Beschichtung von Bauteilgruppen mittels UHD-Wasserstrahltechnik beim Rückbau kerntechnischer Anlagen zu realisieren und im KKW Biblis im industriellen, produktiven Maßstab einzusetzen. Die Bauteilgeometrien sind höchst unterschiedlich und überwiegend nicht durch geometrische Primitive beschreibbar. Es werden zwei Prototypanlagen gebaut, zunächst ein Prototyp im Labormaßstab aus dem anschließend in mehreren Evaluierungsrunden ein Prototyp in Industriequalität entwickelt wird.

Teilprojekt RWE:

RWE entwickelt und plant die technische Umsetzung für die gemeinsam mit dem Projektpartner (Fachinstitut: Fraunhofer Institut IGD in Darmstadt) zu entwickelnde Robotergestützte Automatisierungslösung, unterstützt die Entwicklung CE-konformer industrietauglicher Komponenten und integriert diese in die vorhandene Infrastruktur. Die Arbeitspakete werden dabei in enger Zusammenarbeit unter stetiger Evaluierung der Ergebnisse mit dem IGD bearbeitet.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Projekt ist in acht Arbeitspakete (AP) gegliedert:

- AP1 – Anforderungen/Systemdesign
- AP2 – Autonome 3D-Erfassung der Oberflächengeometrie
- AP3 – Robotergestützte Entschichtung
- AP4 – Simulation und Integration
- AP5 – Prototypenbau
 - Prototyp1: Funktional im Laborbereich zum Testen und Evaluieren
 - Prototyp2: Funktional mit Industriekomponenten, Werksgelände KWB
- AP6 – Anlagenimplementierung
 - Implementierung des Prototyp2 in den Kontrollbereich des KWB
- AP7 – Evaluierung
- AP8 – Projektmanagement

RWE Nuclear GmbH ist Projektkoordinator und an den AP1-AP3, sowie AP5 bis AP8 beteiligt.

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

AP1: Anforderungen/Systemdesign

- Zusammenstellung der Eigenschaften und des Aufbaus der zu entfernenden Beschichtungen
- Beschreibung der Objektgeometrie
- Definition des Arbeitsvolumens für den Scan- und Bearbeitungsprozess
- Erstellung eines maßhaltigen 3D CAD-Modells des Dekontraumes mit Schwerpunkt Scanstation und Dekontbox für die weitere Planung
- Definition der Anforderungen für den Entschichtungsroboter (als Laborversion für IGD Labor – und als industrieller Prototyp für RWE)
- Beschaffung von Musterbauteilen
 - Bauteile gesandstrahlt und mit neuer Beschichtung versehen
 - Bauteile mit gealterter Original-Beschichtung
- Abstimmung und Durchführung von Feldversuchen zur Ermittlung der physikalischen Wirkparameter bei der UHD-Wasserstrahlentschichtung und zur Optimierung des Strahlwerkzeugs
- Erarbeitung der technischen Anforderungen für den Scan-Drehtisch und Abstimmung mit dem Projektpartner IGD
- Betrachtung und Bewertung der erforderlichen Arbeitssicherheitsaspekte speziell von kollaborativen Systemen für die spätere Integration in den Dekontraum
- Marktanalyse von Spanntechniken
- Beschaffung einer Spanneinrichtung/Spannkettensatz zur Fixierung von Bauteilen

AP2: Autonome 3D- Erfassung

- Kontaktaufnahme mit ext. Sachverständigem zur Begleitung der CE-Zertifizierung von Komponenten des Prototyps

AP3: robotergestützte Entschichtung

- Unterstützung des Projektpartners IGD bei der numerischen Erfassung der phys. Wirkparameter des Hochdruck-Wasserstrahlwerkzeugs

AP4: Steuerung, Simulation, Integration

- Dieses AP wird vom Projektpartner IGD bearbeitet

AP5 Prototypenbau RWE

- Konzeptentwicklung für die Aufstellung und den Betrieb des Prototypen außerhalb des Kontrollbereichs
- Beginn der Konzeptplanung zur Aufstellung des Prototypen außerhalb des Kontrollbereichs am Standort Biblis
- Entwicklung eines Konzeptes zur Umsetzung der Maschinenrichtlinie (inkl. CE/ggf. kollaborative Robotik) zum Betrieb des Prototypen
- Marktrecherche und Prüfung der Umsetzbarkeit für die UHD-Wasserführung am Gelenkarm des Bearbeitungsroboters

- Marktrecherche für geeignete Industriepartner (Systemintegration und Aufbau des Prototypen)

AP6: Anlagenimplementierung

- Technischer Entwurf verschiedener Aufstellungsvarianten für die Scanstation
- Erarbeitung der Kriterien für eine CE-Matrix zur Bewertung der Aufstellungsvarianten
- CAD-Simulationen zur Auswahl geeigneter Robotersysteme
- Technische Anforderungsanalyse für den Reinigungsroboter, Erstellung einer technischen Spezifikation und Marktanalyse

AP7: Evaluierung

Evaluierung der unter AP2, AP3, AP5 und AP6 vorgeschlagenen und bearbeiteten Konzepte im Hinblick auf die technische Umsetzungsfähigkeit (räumliche Anordnung, logistische Abläufe Arbeitssicherheitsaspekte Verfahrenstechnik)

AP:8 Projektsteuerung/Administrative Projektarbeit

- Erstellung und Abstimmung einer passenden PSP-Struktur
- Aufbau und Abstimmung eines detaillierten Projektterminplans
- Analyse der kritischen Projektvorgänge
- Aufbau eines Projektcontrollings
- Organisation und Durchführung von 14-tägigen Projektstatusgesprächen mit verbindlicher Protokollierung
- Organisation und Durchführung von Projektfachgesprächen
- Abstimmung und Erstellung einer gemeinsamen Dokumentations- und Ablagestruktur
- Etablierung einer gemeinsamen Master-Memo-Liste zur Verfolgung offener Projekttasks
- Etablierung eines Projektberichtswesens (internes und externes Reporting)
- Projektdokumentation (erzielte Ergebnisse, Entscheidungen etc.)

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Inbetriebnahme des Prototyps im Labormaßstab.
- Optimierung der Steuer- und Betriebssoftware für den Scan- und Entschichtungsprozess.
- Abschluss der Aufstellungsplanung für die Scanstation und Vorbereitung der Beschaffung der Komponenten für den RWE-Prototypen inkl. Systemintegration und CE-Zertifizierung .
- Planung der Aufstellung des Prototyps auf dem Werksgelände außerhalb des Kontrollbereichs

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Vor Projektbeginn wurde festgestellt, dass ein thematisch ähnliches Verbundprojekt namens AUDEKA unter dem Förderkennzeichen 15S9403 bei der GRS im Rahmen von FORKA geführt wird. Die Verfahrensinhalte sind aber anderer Natur und überschneiden sich nicht mit den Techniken von ROBBE.

Das Kompetenzzentrum RODEKON stellt ggf. eine geeignete Plattform dar, zukünftige Entwicklungsergebnisse aus ROBBE vorzustellen

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.03.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9421B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Postfach 200733, 800007 München, für ihr Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, Fraunhoferstraße 5, 64283 Darmstadt	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Robotergestützte Bearbeitung von Baugruppen beim Rückbau von Kraftwerken - Teilvorhaben: Autonome Digitalisierung und Entschichtung von Baugruppen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2020 bis 28.02.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.170.790,66 €
Projektleiter: Herr Pedro Santos	E-Mail-Adresse des Projektleiters: pedro.santos@igd.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Gesamtzielsetzung des Verbundes:

Ziel des Projekts ist, erstmals eine automatisierte und autonome Abtragung der Beschichtung von Bauteilgruppen mittels UHD-Wasserstrahltechnik beim Rückbau kerntechnischer Anlagen zu realisieren und im KKW Biblis im industriellen, produktiven Maßstab einzusetzen. Die Bauteilgeometrien sind höchst unterschiedlich und überwiegend nicht durch geometrische Primitive beschreibbar. Es werden zwei Prototypanlagen gebaut, zunächst ein Prototyp im Labormaßstab aus dem anschließend in mehreren Evaluierungsrunden ein Prototyp in Industriequalität entwickelt wird.

Teilprojekt IGD:

Das Fraunhofer IGD entwickelt die notwendige autonome Roboter-gestützte 3D-Digitalisierung beliebiger Objektoberflächen, sowie die Bahnplanung für einen mit UHD-Wasserstrahltechnik ausgestatteten Entschichtungsroboter unter Berücksichtigung der Strahldüsen-Wirkparameter und Störgeometrien.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Projekt ist in acht Arbeitspakete (AP) gegliedert:

- AP1 – Anforderungen/Systemdesign
- AP2 – Autonome 3D-Erfassung der Oberflächengeometrie
- AP3 – Robotergestützte Entschichtung
- AP4 – Simulation und Integration
- AP5 – Prototypenbau
 - Prototyp1: Funktional im Laborbereich zum Testen und Evaluieren
 - Prototyp2: Funktional mit Industriekomponenten, Werksgelände KWB
- AP6 – Anlagenimplementierung
 - Implementierung des Prototyp2 in den Kontrollbereich des KWB
- AP7 – Evaluierung
- AP8 – Projektmanagement

Das Fraunhofer IGD ist an allen Arbeitspaketen beteiligt.

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

AP1: Anforderungen/Systemdesign

- Siehe Zwischenbericht RWE; Gemeinsame Festlegung der Systemanforderungen.

AP2: Autonome 3D- Erfassung

Ziel: Erfassung eines unbekanntem teilweise glänzenden Objektes.

- Umwandlung der Scannerarchitektur von monolithischen in verteilten Prozess.
- Entwicklung eines geschlossenen Regelkreises zwischen Roboter und Scanner basierend auf der Analyse der einzelnen Scannlinien.
- Entwicklung von Kenngrößen für die Nachführung der Bahn.
- Entwicklung eines neuen Positionierungsverfahrens für Echtzeitnachführung.
- Entwicklung verschiedener Strategien für die initiale Analyse des unbekanntem zu scannenden Objektes.
- Entwicklung von Analyseverfahren zur Bestimmung der Vollständigkeit/Qualität der Punktwolke.
- Detektion / Aussortierung von Hindernissen und Sichtfehlern im 3D Modell.
- Entwicklung von Qualitätsbedingungen für die Bahnoptimierung beim scannen.
- Kontaktaufnahme mit ext. Sachverständigem zur Begleitung der CE-Zertifizierung von Komponenten des Prototyps

AP3: robotergestützte Entschichtung

Ziel: Reinigung auf Basis von direkt auf Punktwolken erfolgreicher Pfadplanung.

- Entwicklung von geeigneter Ansichtenplanung und Pfadextraktion.
- Entwicklung verschiedener Basistrajektorien für die Oberflächenreinigung.
- Entwicklung eines parametrischen Pfadsynthesizers für die Umwandlung von Basistrajektorien in eine optimierte Reinigungsbahn.
- Entwicklung von Qualitätsbedingungen für die Bahnoptimierung beim Reinigen.
- Unterstützung des Projektpartners RWE bei der numerischen Erfassung der phys. Wirkparameter des Hochdruck-Wasserstrahlwerkzeugs

AP4: Steuerung, Simulation, Integration

Ziel: Entwicklung einer virtuellen Reinigung zur Bahnoptimierung.

- Entwicklung eines mathematischen Modells für die Darstellung des Grades der Oberflächenabtragung.
- Entwicklung von Optimierungszielen der virtuellen Reinigung auf Basis von realen Reinigungsvorgängen.
- Die Teile aus AP3 und AP4 bilden hierbei einen geschlossenen Regelkreis. Das Ergebnis aus Pfadplanung von AP3 wird in AP4 simuliert. Hierbei wird ersichtlich, wo das System noch Defizite in der Reinigung sieht. Basierend darauf wird die Bahn dann weiter angepasst, bis eine Zielvorgabe für die Reinigung erreicht ist und somit die fertige Trajektorie erstellt ist.

AP5 Prototypenbau RWE

- Beiträge zur Konzeptentwicklung für die Aufstellung und den Betrieb des Prototypen außerhalb des Kontrollbereichs basierend auf dem Design des Laborprototypen
- Beiträge zur Entwicklung eines Konzeptes zur Umsetzung der Maschinenrichtlinie (inkl. CE/ggf. kollaborative Robotik) zum Betrieb des Prototypen

AP6: Anlagenimplementierung

- Informationen zu Freiheitsgraden des Scanroboters und Scanvolumina zur Bewertung verschiedener Aufstellungsvarianten für die Scanstation
- Technische Anforderungsanalyse für die Reinigungstechnik in Abhängigkeit einzusetzender Roboterarme.

AP7: Evaluierung

Evaluierung der unter AP2, AP3, AP5 und AP6 vorgeschlagenen und bearbeiteten Konzepte im Hinblick auf die technische Umsetzungsfähigkeit (räumliche Anordnung, logistische Abläufe Arbeitssicherheitsaspekte Verfahrenstechnik)

AP:8 Projektsteuerung/Administrative Projektarbeit

- Von RWE durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Der nächste Große Meilenstein ist die Mechanische Fertigstellung von Prototyp1. Ist dies geschehen werden die in AP2,3 und 4 vorbereiteten Softwarekomponenten an das System angepasst integriert, getestet und optimiert.

Parallel wird die Simulation und Planung der Reinigung um Erkenntnisse erweitert, die kürzlich bei Experimenten mit der UHD Technik zum Abtragsverhalten gewonnen wurden. Zudem läuft der Entwicklung der Scantechnik weiter um Störgeometrien, die nicht gereinigt werden dürfen im Modell zu markieren und diese bei der Reinigung zu berücksichtigen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Wir haben an der ersten Partizipationsveranstaltung von ROBDEKON teilgenommen, welche vom 22.10.2019 – 23.10.2019 in Karlsruhe stattfand, um uns einen Überblick über die dort adressierten Forschungsschwerpunkte zu verschaffen.

Wir sehen ROBDEKON als ein Kompetenzzentrum, welches sich der Erforschung von autonomen und teilautonomen Robotersystemen widmet, und in dem Zusammenhang ein sehr breites Spektrum an Fragestellungen zum Thema Roboter und Reinigung /Dekontamination im Rückbau bearbeitet, wobei viele davon prototypisch angegangen werden. Am Ende unseres sehr fokussierten Projektes hingegen, soll eine Lösung zur autonomen Entschichtung von Oberflächen stehen, die mit unserem Partner RWE in den tatsächlichen Einsatz überführt wird.

Aus unserer Sicht ist ROBDEKON eine sehr gute Plattform, um bei zukünftigen Veranstaltungen, Ergebnisse aus ROBDE vorzustellen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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: 232.675,00€
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Dirk Bosbach	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: d.bosbach@fz-juelich.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

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

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

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

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 2: Die Arbeiten wurden im 2. Halbjahr 2019 abgeschlossen.

AP 4: Vervollständigung der Literaturrecherche zu Verwertungsoptionen mit aktuellen Beispielen aus der internationalen Praxis. Weltweit gibt es bislang keine Optionen zur Wiederverwendung größerer Mengen an bestrahltem Be. Für eine Freigabe wäre insb. eine Abtrennung von Be-10 (Halbwertszeit $1,4 \cdot 10^6$ a) erforderlich, was mit großem Kostenaufwand wegen Isotopentrennung verbunden wäre. Eine Dekontamination von bestrahltem Be mit darauffolgender Freigabe wird als ökonomisch nicht sinnvoll erachtet. Die Arbeiten zu AP 4 sind weit fortgeschritten, die Ergebnisse liegen in Berichtsform (Entwurfssfassung) vor.

AP 5: Die Literaturrecherche und Analyse von möglichen Dekontaminationsverfahren wurde mit aktuellen Informationen zur Dekontamination von bestrahltem Be vervollständigt, z.B. im Hinblick auf eine Wiederverwertung des Be in Fusions- oder Forschungsreaktoren. Eine Umsetzung der entwickelten Dekontaminationsmethoden und die Weiterverwertung wurde im betrachteten Fall durch die Durchführung der Arbeiten in einem internationalen Konsortium (Japan-Russland-Kasachstan) begünstigt. Ansonsten wäre eine Dekontamination von bestrahltem Be im nationalen Kontext (z.B. in Deutschland allein) zwecks Wiederverwertung ökonomisch eher ungünstig. Des Weiteren wurden Strahlenschutz-relevanten Aspekte der Dekontaminationsoptionen hinsichtlich des Mehraufwands mit Fa. Brenk Systemplanung GmbH (BS) diskutiert.

AP 6: Diskussion und Analyse der Anwendbarkeit von Konditionierungsmethoden im Hinblick auf die Endlagerbedingungen des Endlagers Konrad. Das bislang vorgesehene Konzept, Be ohne Konditionierung endzulagern wurde in den USA getestet, wobei eine erhebliche Zunahme an C-14 und H-3 im Grundwasser nachgewiesen wurden. Um den Endlagerbedingungen von Schacht Konrad gerecht zu werden, wäre voraussichtlich eine Reduzierung des H-3 Aktivität (z.B. durch thermische Behandlung) erforderlich. Im Ergebnis der Literaturrecherche bestehen wesentliche Wissenslücken hinsichtlich des Verhaltens und der Stabilität von Be-Abfallformen unter Endlager-relevanten Bedingungen.

AP 7: Diskussion der Ergebnisse und identifizierter Wissenslücken in Bezug auf Eigenschaften und Verhalten von Be mit BS und HZB; Zusammenfassung der Literaturrecherchen zu den einzelnen APs.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 2: abgeschlossen.

AP 4: abgeschlossen.

AP 5: Ergänzung der Zusammenfassung des strahlenschutztechnischen Mehraufwands einer Dekontamination durch die beim Abschlussmeeting erzielten Diskussionsergebnisse.

AP 6: abgeschlossen.

AP 7: Zusammenfassung und Analyse der gesammelten Daten und Informationen zur Identifizierung relevanter Wissenslücken in Bezug auf Konditionierungs- und Dekontaminationsverfahren sowie zu möglichen Entsorgungskonzepten für bestrahltes Be.

AP 8: Erstellung eines Abschlussberichtes.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

EU-Verbundvorhaben CEBAMA (2015-2019), BMBF Verbundvorhaben „Entsorgung von Beryllium und Cadmium aus Forschungsreaktoren“ (2001- 2006), EU Verbundvorhaben Predis WP4 „Innovations in metallic material treatment and conditioning“ (Beginn 9/2020)

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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 innerhalb der Gesamtprojektlaufzeit wurden acht Arbeitspakete (AP 1 bis AP 8) definiert. Der Verbundprojektpartner HZB hat im Rahmen des Vorhabens KONEKT zu folgenden Arbeitspaketen Beiträge geleistet:

- Arbeitspaket 1: Durchführung einer deutschlandweiten Bestandsaufnahme an bestrahltem Be aus Forschungsreaktoren und Bestimmung des radioaktiven Inventars. Detaillierte Be-Inventar Aufstellung des BER II; Durchführung einer welt- und europaweiten Bestandsaufnahme an bestrahltem Be.
- Arbeitspaket 2: Überprüfung des nationalen und internationalen Kenntnisstands hinsichtlich des Umgangs mit und Konditionierung von bestrahltem Be auf Grundlage vorhandener Literatur.
- Arbeitspaket 3: Detaillierte Analyse der Einlagerung von Beryllium in Schacht Konrad hinsichtlich Deklarationsschwellenwert und Beschreibungsschwellenwert; 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 des Abschlussberichtes, Zuarbeit zum Synthesebericht.

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

Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten an Arbeitspaket 5 durchgeführt. Die Kosten für verschiedene Entsorgungsvarianten des Nuklearberylliums wurden abgeschätzt.

Es wurden dabei folgende Varianten untersucht:

- **Ausheizen von H-3**
Die dabei entstehenden Kosten in Höhe von 18 Mio € beinhalten die Planung, Genehmigung und den Betrieb einer speziell dafür zu errichtenden Anlage, die Entsorgung von Sekundärabfällen sowie die abgeschätzten Kosten für die Erstellung eines Ablaufplans und die Produktkontrolle. Die zusätzlich dazu anfallenden Kosten für die Endlagerung im Endlager Konrad sind hierbei noch nicht berücksichtigt.
- **Chemische Dekontamination von Aktivierungs- und Spaltprodukten**
Auch für diese Variante muss eine spezielle Anlage errichtet werden. Die anfallenden Kosten in Höhe von 90.4 Mio € entfallen auf Planung, Genehmigung und Betrieb, sowie die Entsorgung von Sekundärabfällen; des Weiteren werden auch hier die Kosten für Freimessung, den Ablaufplan und die Produktkontrollmaßnahmen berücksichtigt.
- **Isotopentrennung von Be-10 und Be-9**
Für das Abtrennen von Be-10 zur Freimessung werden die doppelten Kosten der chemischen Dekontamination angesetzt. Diese belaufen sich auf 180 Mio € und beinhalten die gleichen zu berücksichtigenden Kostenpunkte wie die Dekontamination.
- **Direkte Endlagerung im Endlager Konrad**
Für die direkte Endlagerung müssen Kosten für Endlagerbehälter, Beprobung und Analysen, Einhaltung der Abfallbehälterklasse II, Produktkontrolle und Dokumentation, Zwischenlager- und Transportkosten, Endlagergebühren sowie die Gutachterkosten berücksichtigt werden; diese Kosten belaufen sich insgesamt auf ca. 11 Mio €.
- **Endlagerung als HAW in einem noch zu findenden Endlager**
Eine Lagerung in einem Endlager für hoch wärmeentwickelnde Abfälle ist nicht vor Beginn 2100 zu erwarten. Bis dahin fallen Kosten für Konditionierung, Behälter sowie die Zwischenlagerung an und wurden mit ca. 27.4 Mio € abgeschätzt.

Es hat sich gezeigt, dass lediglich ein Ausheizen von H-3 aus wirtschaftlichen Gründen sinnvoll ist, da es die Wahrscheinlichkeit, dass das Beryllium im Endlager Konrad endgelagert werden kann, deutlich erhöht. Verglichen mit den anfallenden Kosten bei einer Dekontamination zur Freimessung wäre voraussichtlich sogar eine Entsorgung als HAW kostenmäßig um ca. eine Größenordnung günstiger.

Zusätzlich zu AP 5 wurde begonnen, die verbleibenden offenen Fragestellungen im Rahmen von AP 7 zusammen zu tragen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Aktuell werden die in den verschiedenen Arbeitspaketen gefundenen offenen Punkte im Rahmen der Bearbeitung des AP 7 zusammengetragen. Diese sind im Anschluss noch mit dem Verbundpartner FZJ abzustimmen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Kein Bezug zu anderen Vorhaben

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9406A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Framatome GmbH (Framatome)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM), Teilprojekt: Entwicklung und Bau der Messanlage	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.09.2018 bis 31.08.2021	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 657.634,30 €
Projektleiter/-in: Dr. Laurent Coquard	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: laurent.coquard@framatome.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Kooperationspartner Framatome GmbH (Framatome), die Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) und das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen (FINT) haben sich zum Ziel gesetzt, die Prompt-Gamma-Neutronen-Aktivierungs-Analyse (PGNAA) zur Charakterisierung radioaktiver Abfälle zu entwickeln und für Ablieferungspflichtige anwendbar zu machen. Die Zielstellung des Projektes ist dem Forschungsfeld „Zerstörungsfreie Deklaration bzw. Analyse von (Alt-)Abfällen“ zuzuordnen. Innerhalb des Projektes wird die Messanlage QUANTOM® für die zerstörungsfreie Überprüfung der stofflichen Beschreibung aufgebaut und erprobt. QUANTOM® wird 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 Arbeitsprogramm Punkten)

Im Berichtszeitraum wurde seitens Framatome hauptsächlich an den Arbeitspaketen AP5 und AP9 gearbeitet. Die letzten PTFE Hardwarekomponenten wurden geliefert (PTFE Wand, PTFE Hülle unter und über dem Fass). Der Aufbau vor Ort bei AINT (AP9) wurde fortgeführt: der mobile Teil wurde vollständig aufgebaut (PE Dach, PTFE Wand incl. N-Detektoren). Auch der Aufbau des festen Teiles wurde weiter fortgeführt: Stahlkäfig, seitliche PE Platten, PE Dach, PTFE Wand incl. N-Detektoren, PE Dach, PTFE Hüllen, Gammaabschirmung sind vollständig aufgebaut. Alle Kabelführungen (N-Detektoren, Sensoren, Endschalter) wurden vor Ort in diversen Komponenten gebohrt bzw. gefräst. Zuletzt wurde die Werkabnahme des Kranes durchgeführt. Im Juni 2020 ist der Aufbau der Messanlage zu 95 % abgeschlossen. Das Arbeitspaket zum Aufbau der stationären Messanlage QUANTOM® (AP9) ist bis auf die Integration des Krans, des Neutronengenerators und der HPGe-Detektoren abgeschlossen. Das untere Bild zeigt den Stand der Anlage Ende Juni 2020:



In AP5 wurde an der Steuerung der Anlage weitergearbeitet: die im Projekt entwickelte GUI wurde für den Kran erweitert ebenso wie die dazugehörige Programmierung. Mit den bereits integrierten Komponenten wurden Software- und Hardwaretests zu Kalterprobungen erfolgreich durchgeführt. Zusätzlich wurden die Arbeiten für die Errichtung einer Datenbank weiter fortgeführt (AP5). Die Datenbank wurde vor Ort installiert. In AP10 (Experimentelle Validierung mit verschiedenen Matrizes) wurde für die Behandlung von Abfallfässer (ohne Winkelring) eine Sonderkonstruktion (Winkelringadapter) konzipiert und bestellt, sodass der Fassgreifer vom Kran solche Fässer zukünftig greifen kann. Die von FRAMATOME entwickelte Sonderkonstruktion (Fass Heterogen) wurde angeliefert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In Q3 2020 werden die Arbeitspakete AP5 und AP9 fortgeführt. Der Kran wird montiert und in Betrieb genommen. Elektrotechnische Tests der Steuerung und das Greifen von gefüllten Referenz Fässer (mit und ohne Winkelring Deckel) wird getestet. Die HPGe Detektoren und Neutronengenerator werden eingebaut und angeschlossen, sodass eine neue Kalterprobung der gesamten Anlage erfolgen kann. Zusätzliche Positioniertische für die HPGe Detektoren werden bestellt, angeliefert und montiert. Es werden in Q3 2020 die Meilensteine „M17: Neutronenspektrum und Neutronenfluss außerhalb der Messanlage (stationär) gemessen“, „M18: Testbetrieb des Neutronengenerators und Kalibrierung der Detektoren“ sowie „M19: Aufbau der stationären Messanlage“ abgeschlossen. Die Validierungsphase sowohl mit nicht radioaktiven (Referenzfässer) und radioaktiven Fässern wird anschließend gestartet. 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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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 errichtet 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 erstellt 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

Auf Grundlage der nuklearphysikalischen Simulationen der Messanlage mit MCNP wurde das Detailengineering für die stationäre Messanlage QUANTOM® in AP1 abgeschlossen. Im Berichtszeitraum wurde in den Arbeitspaketen AP2 bis AP14 gearbeitet. Sämtliche Baugruppen wurden spezifiziert, erworben und größtenteils verbaut. Das Arbeitspaket zum Aufbau der stationäre Messanlage QUANTOM® (AP9) ist bis auf die Integration des Krans, des Neutronengenerators und der HPGe-Detektoren abgeschlossen. Mit den bereits integrierten Komponenten wurden Software- und Hardwaretests zu Kalterprobungen durchgeführt. Im Juni 2020 ist der Aufbau der Messanlage zu 95 % abgeschlossen. Nachdem die finalen Inbetriebsetzungsprüfungen erfolgt sind, beginnt die experimentelle Validierung mit nichtradioaktiven Referenzmaterialien. Die Genehmigung für die Inbetriebnahme der stationären Messanlage im Strahlenschutzbauwerk von AiNT gemäß § 12 StrlSchG (AP4) liegt seit Juni 2019 vor. Die anstehende experimentelle Validierung mit nichtradioaktiven Referenzmaterialien wurde weiter vorbereitet, indem repräsentative Proben am Department of Nuclear Analysis and Radiography, Centre for Energy Research am Forschungsreaktor in Budapest sowie mit der AiNT-Messanlage [ZEBRA](#) mittels P&DGNAA analysiert wurden. Ergänzend wurden Röntgenfluoreszenzanalysen (RFA) beauftragt und vom Hersteller bezogen. Die Ergebnisse der Multielementanalysen (Budapest, ZEBRA, RFA) wurden verglichen und die Messverfahren bestätigen sich gegenseitig. Hierdurch kann die grundsätzliche Eignung der PGNAA-Messverfahren testiert werden. Die Ergebnisse der an den Referenzmaterialien vorgenommenen Multielementanalysen werden in der experimentellen Validierung (AP10) mit den QUANTOM®-Messungen verglichen. Die Auswertung der erhobenen Messdaten erfolgt durch die in AP6 entwickelten mathematischen Methoden, welche in die Software zur Messdatenauswertung (AP5) implementiert werden. Inhalt dieser Software- und Methodenentwicklung sind insbesondere die Modellierung von Gamma- und Neutronentransportrechnungen und deren iterativer Kopplung. Im Berichtszeitraum wurde der deterministische Neutronentransportcode (AiNT-Bezeichnung SPARC) und der Code für die Berechnung von Photopeak-Effizienzen (AiNT-Bezeichnung TRACER) weiterentwickelt. Mittels SPARC werden

für das partitionierte Fassmodell im 200-l-Fass der totale Neutronenfluss und die Neutronenspektren berechnet. Die im Projekt entwickelte Neutronentransportmodellierung (SPARC) basiert auf einer SP3-Diffusions-approximation 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. Die entwickelte Gammatransportmodellierung (TRACER) berechnet die energieabhängige Photopeak-Effizienz der HPGe-Detektoren der aus dem 200-l-Fass emittierten prompten und verzögerten Gamma-Strahlung.

Zusammenfassend lag der Schwerpunkt innerhalb der Software- und Methodenentwicklung (AP5 & AP6) im Berichtszeitraum beim Softwaremodul zur Berechnung von Photopeak-Effizienzen, insbesondere für Gamma-Energien über 7 MeV, bei Verfahren zur Beschleunigung und Erhöhung der Richtigkeit bei der deterministischen Neutronentransportmodellierung sowie der Automatisierung der Peak-Auswertung und der Betriebs- und Steuerungssoftware. Ausstehend sind noch weitere Tests der Betriebs- und Steuerungssoftware, welche erst nach abgeschlossenem Aufbau erfolgen können.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In Q3 2020 werden die Arbeitspakete AP2 bis AP14 bearbeitet. Es werden in Q3 2020 die Meilensteine „Testbetrieb des Neutronengenerators und Kalibrierung der Detektoren“ sowie „Aufbau der stationären Messanlage“ abgeschlossen. Die Entwicklungsarbeiten im Bereich der Software- und Methodenentwicklung für den Neutronentransportcode (SPARC) und den Code für die Berechnung von Photopeak-Effizienzen (TRACER) werden fortgesetzt. Innerhalb von AP5 und AP6 wird ein Schwerpunkt auf die Schnittstellenentwicklung zwischen den einzelnen Softwaremodulen und der iterativen Kopplung gelegt. Vor dem Beginn des regulären Messbetriebs zur experimentellen Validierung wird eine Sachverständigenprüfung bzgl. der Umsetzung der strahlenschutz- und sicherheitstechnischen Anforderungen durchgeführt. 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 wird die Steuerungssoftware getestet und weiterentwickelt.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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)

Das Detailengineering für die stationäre Messanlage QUANTOM® in AP1 wurde abgeschlossen. Im Berichtszeitraum wurde seitens FINT in den Arbeitspaketen AP8, AP12 und AP13 gearbeitet. Die Neutronendetektoren sowie die Komponenten der Nachfolgeelektronik wurden in den PTFE-Layer der stationären Messanlage QUANTOM® eingebaut und getestet (AP12). Für die Neutronendetektoren wurde das in Abstimmung mit dem Verbundpartner AiNT erarbeitete Konzept zur Kalibrierung umgesetzt, 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 Kalibrierung der Neutronendetektoren wurde mittlerweile abgeschlossen. Die Messungen des Neutronenflusses und des Neutronenspektrums außerhalb der Anlage QUANTOM® (AP8) wurden im Fraunhofer-INT weiter vorbereitet. An der Vorbereitung der experimentellen Validierung mit radioaktiven Abfällen wurde beratend mitgearbeitet (AP13).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im zweiten Halbjahr 2020 werden die Arbeitspakete AP8 und AP13 weiterbearbeitet. Die Neutronenflussmessung außerhalb der stationären Anlage mit dem Neutronenspektrometer ROSPEC wird durchgeführt, sobald der Neutronengenerator von QUANTOM® seine volle Leistung liefern kann (AP8). Außerdem wird am Testbetrieb der stationären Messanlage QUANTOM® und der Kalibrierung mit Referenzfässern mitgewirkt (AP13).

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9407A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Postfach 200 733, 80007 München Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Standort Dresden-Klotzsche, Maria-Reiche-Str. 2, 01109 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit. Teilprojekt A: Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Konditionierungsverfahren mit Nuklidseparation zur Volumenreduktion	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2021	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.219.438,39 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Chem. H.–J. Friedrich	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hans-juergen.friedrich@ikts.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- AP1: Projektkoordination
- AP2: Bereitstellung und Charakterisierung von Reaktorgraphit
- AP3: Ermittlung und Analyse der leichter freisetzbaren Nuklidfraktion und Auswahl von Verfahren zu deren Konditionierung
- AP4: Vergasung des vorbehandelten Graphits
- AP5: Dekontamination des erzeugten Synthesegases durch Isotopentrennung
- AP6: Umsetzung des mit C-14 angereicherten Gasstroms zu C-14-CaCO₃
- AP7: Bilanzierungen, zusammenfassende Bewertung, Verwertungskonzept

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

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

- AP1: Die Aktivitäten zu AP 1 erfolgten planmäßig. Das dritte Verbundtreffen wurde durchgeführt. Zudem fanden zur Konkretisierung der Arbeitsplanung und zur Besprechung von Ergebnissen erneut bilaterale Arbeitstreffen und Telefonkonferenzen mit dem Projektpartner bzw. mit Nachauftragnehmern statt. Es ist vorgesehen, einen Beitrag für die Kontek 2021 anzumelden.
- AP2: Die Arbeiten zu AP 2 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. Für weitere Untersuchungen bei IKTS wurde ein Graphitblock aus dem Segment 3 der thermischen Säule mit einer spezifischen C-14-Aktivität von rund 120 Bq/g (Leitnuklid) ausgewählt. Weitere Kontaminanten sind Tritium, Co-60 und Eu-152. Aus diesem Block wurden Proben für Versuche herausgearbeitet, die z.Z. untersucht werden, um den radiologischen und chemischen Ausgangszustand vor den Dekontaminationsuntersuchungen detailliert zu beschreiben. Allerdings wurde der Fortgang dieser Arbeiten durch die aktuelle Situation erheblich beeinträchtigt.
- AP3: Die Untersuchungen mit den Schwerpunkten thermische Desorption und elektrochemische Dekontamination wurden unter Verwendung von freigemessenem Reaktorgraphit fortgesetzt und abgeschlossen. Die Untersuchungen zum Desorptionsverhalten im Temperaturbereich bis 1.000 °C ließen nur auf geringfügige Massenänderungen schließen. Sie sind auf die Freisetzung von CO₂ und CO zurückzuführen, wie gaschromatografische Analysen zeigten. Im Temperaturbereich bis 500°C, der im Projekt vorrangig zu betrachten war, sind nur Masseänderungen im Bereich der Nachweisgrenze der Analysenverfahren zu beobachten. Hinweise auf die Freisetzung von flüchtigen Verbindungen in diesem Temperaturintervall wurden nicht erhalten. Die Untersuchungen zur elektrochemischen Dekontamination ergaben weitere Belege für eine partielle elektrochemische Vergasung des Reaktorgraphits. CO₂ konnte durch Fällung als Ba(OH)₂ zweifelsfrei als Reaktionsprodukt nachgewiesen werden. Intermediär entstehen auch wasserlösliche Kohlenwasserstoffverbindungen, die als TOC (total organic carbon) nachweisbar sind. Die entsprechenden Auswertungen laufen noch. Die Arbeiten werden aufgrund ihrer Bedeutung abweichend von der Projektplanung noch einige Monate weitergeführt.
- AP4: Das Arbeitspaket wird durch den Verbundpartner TU-Bergakademie Freiberg, Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, bearbeitet.
- AP5: Die Fertigung der Versuchsanlage zur Trennung der Kohlenstoffisotope mittels Membrandiffusion konnte abgeschlossen werden. Lieferverzögerungen und die aktuelle Pandemiesituation verhinderten eine frühere Fertigstellung. Die Arbeiten zur Entwicklung spezifischer Membranen wurden weitergeführt.

Zur Vorbereitung der Untersuchungen zur Trennung der C-Isotope wurde auf Basis der im vorherigen Berichtszeitraum durchgeführten Auslegungs- und Modellrechnungen mit der Umrüstung der Versuchsanlage begonnen. Diese Arbeiten werden sich noch bis Jahresende erstrecken.

Modellierungen zur Abtrennung von C-14 aus Gasen führten zu dem Ergebnis, dass bei einer angenommenen Ausgangskonzentration von 10E-04 Mol-% eine Abreicherung bis zum Freigabegrenzwert der StrSchV Anlage 4, Tabelle 1, Sp. 8 möglich ist (10E-8 Mol%). Dabei wird C-14 in der schweren Fraktion bis auf 1% angereichert. Alternativ wurde der Fall betrachtet, dass das zu prozessierende C-14-Gas aus dem Zentrifugenprozess nach Rückumwandlung in CO₂ als BaCO₃ gefällt wird und eingeschränkt zur Deponie freigegeben werden kann. Dies würde den Trennaufwand um den Faktor 5 vermindern. Die Trennung auf diese Weise könnte sehr wirksam durchgeführt werden, der Trennaufwand (Trennarbeit SWU) mittels Gaszentrifuge liegt aufgrund des Wirkprinzips (absolute Massendifferenz) jedoch bedeutend höher als z.B. bei der Urananreicherung. Bei anderen Verfahren ist das Massenverhältnis die bestimmende Größe. Energie- und Kostenaufwand wurden für einen Graphitdurchsatz von 10 t/a abgeschätzt.

Mit der Vorbereitung der Untersuchungen zur C-14-An-/Abreicherung mittels elektrochemischer Membrantrennprozesse und mittels biochemischer Stoffwechselketten wurde weitergeführt. Insbesondere wurden spezielle Elektrolysezellen für elektrokinetische Anreicherungsversuche konstruiert und gefertigt. Die Versuchsanordnungen werden gegenwärtig komplettiert und aufgebaut.

Auch die Geräte und Ausrüstungen für die biochemischen Anreicherungsversuche wurden beschafft. Allerdings wurde der Fortgang auch dieser Arbeiten durch die aktuelle Situation beeinträchtigt.

AP6: Eine Bearbeitung war im Berichtszeitraum nicht vorgesehen.

AP7: Die Arbeiten wurden im Berichtszeitraum nicht weitergeführt, weil die zur weiteren Abstimmung bzgl. Weiterführung benötigten Analysen- und Prozessdaten noch nicht zur Verfügung standen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Das nächste Verbundmeeting ist für September 2020 geplant. Eine Entscheidung zur Art der Durchführung wird situationsabhängig im August getroffen. Weitere Abstimmungen mit den Partnern sind quartalsweise geplant.

AP2: Das AP wird planmäßig weiterbearbeitet.

AP3: Mit Reaktorgraphit aus dem Segment 3 des RFR werden die Versuche zur elektrochemischen Dekontamination durchgeführt, ebenso Untersuchungen zur elektrochemischen Vergasung

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

Ein Beitrag war für den RCA-workshop von VKTA und Helmholtz-Zentrum in Rossendorf angemeldet. Die Tagung wurde jedoch situationsbedingt abgesagt und auf 2021 verschoben.

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9407B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Bergakademie Freiberg	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt GraKon – Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit, Teilprojekt B	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.08.2021	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 516.043,96 €
Projektleiter/-in: Prof. Bernd Meyer	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Bernd.Meyer@iec.tu-freiberg.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Die Arbeiten im Berichtszeitraum beziehen sich hauptsächlich auf AP 320 (Untersuchung des Konversionsverhaltens) und AP 330 (Identifikation geeigneter Konversionsprozesse). Da die Präsenzarbeit an der TU Bergakademie Freiberg von März bis Juni 2020 wegen der COVID-19-Pandemie stark eingeschränkt wurde, haben sich die Weiterführung des AP 320 und konsequenterweise der Beginn des AP 340 (Entwicklung Prozesskette für Vergasung) verzögert.

AP 320:

- Die kinetischen Untersuchungen wurden hinsichtlich Konversion des Reaktorgraphits mit Wasserdampf weitergeführt. Für die Ermittlung der Onset-Temperatur der Graphitkonversion mit Wasserdampf wurde die Graphitprobe in einer Druckthermowaage (Fa. DMT) bei einer Wasserdampfkonzentration von 100 Vol.-% bis 1100 °C linear aufgeheizt. Für die Reaktion mit Wasserdampf ergibt sich eine Onset-Temperatur von ca. 1000 °C (s. Abb. 1).

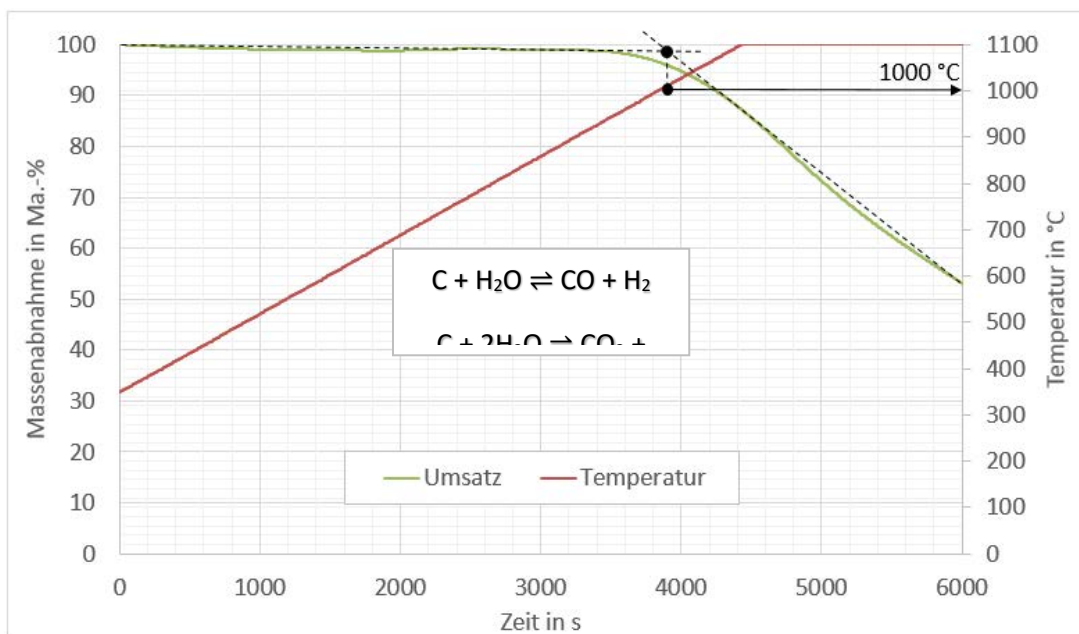


Abb. 1. Umsetzung von Reaktorgraphit im Wasserdampf unter Aufheizbedingungen (10 K/min)

- Die Ermittlung der kinetischen Parameter entsprechend Arrhenius-Ansatz erfolgte isotherm bei Temperaturen von 950 – 1100 °C in einem Gasstrom von 100 Vol.-% Wasserdampf. Die Aktivierungsenergie für die Reaktion des Reaktorgraphits mit Wasserdampf beträgt 223 kJ/mol.
- Die Untersuchung des Einflusses des Absolutdruckes sowie des Partialdruckes von Wasserdampf und des Einflusses der Beimischung von O₂ zu Wasserdampf bei der Variation der Partialdrücke auf die Umsetzung des Reaktorgraphits wurde wegen der Präsenzarbeitsbeschränkung an der TU Bergakademie Freiberg verzögert. Diese Untersuchungen stehen noch bevor.

AP 330:

- Die Prozessparameter, im AP 320 (Untersuchung des Konversionsverhaltens) experimentell ermittelt, sind die Basis für die Auswahl eines geeigneten Konversionsverfahrens.
- Obwohl AP 320 noch nicht vollständig abgeschlossen ist, kann auf der Basis der experimentell ermittelten kinetischen Parameter abgeschätzt werden, dass als optimales Vergasungsmittel Wasserdampf mit Beimischung von Sauerstoff dienen kann. Die Beimischung des Sauerstoffs ist erforderlich, um einen autothermen Vergasungsbetrieb (interne Wärmebereitstellung für die Vergasungsreaktion) zu ermöglichen, der im Fall der großtechnischen Realisierung favorisiert wird. Alternative Energieeinträge, wie Plasma oder Induktion, werden zunächst nicht betrachtet.
- Zu berücksichtigende Vergasungsprinzipien sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1. Gegenüberstellung von Vergasungsprinzipien

Verfahrensprinzip	Festbett- /Schlackebadvergasung	Wirbelschichtvergasung	Flugstromvergasung
Körnung Vergasungsstoff (VS)	grobkörnig (>5 mm bis cm-Bereich)	feinkörnig (<5 mm)	staubförmig (<0,25 mm)
Eintragungssystem	gravimetrisch/ mechanisch	gravimetrisch/ mechanisch oder pneumatisch	pneumatisch (Dichtstrom), hydraulisch (Suspension)
max. Temperatur	1000 – 1300 °C/ 1250 - 1500 °C	800 – 1100 °C	1250 – 1600 °C
Vergasungsmittel	H ₂ O/O ₂ oder O ₂		
Systemdruck	bis 40 bar	bis 30 bar	bis 60 bar
Wärmebereitstellung	autotherm		
qualitative Gaszusammensetzung	CO ₂ , CO, H ₂ , CH ₄ , C _n H _m , H ₂ O	CO ₂ , CO, H ₂ , CH ₄ , H ₂ O	CO ₂ , CO, H ₂ , H ₂ O
wesentliche verfahrensbezogene Aspekte	- kein Feingut einsetzbar - ggf. Fremdbettmaterial erforderlich	- VS-Verweilzeit nicht frei wählbar - ggf. Fremdbettmaterial erforderlich	- hoher Zerkleinerungsaufwand - kurze Verweilzeit - hohe Rohgasaustrittstemperatur

- Die in Tabelle 1 dargestellten Vergasungsprinzipien stellen unterschiedliche Anforderungen an die Vergasungsstoffkörnung, das Eintragungssystem, die Rohgasnachbehandlung u. a. und führen zu unterschiedlichen Gasqualitäten. Beim Einsatz von Reaktorgraphit sind besonders der Aufbereitungsaufwand, die Reaktionsträgheit und die Aschearmut (Aschegehalt von 0,01 Ma.-% (wf)) zu beachten.
- Bei der Flugstromvergasung sind die energie- bzw. kostenintensive Aufmahlung des Reaktorgraphits, die kurze Feststoffverweilzeit sowie die sehr hohe Rohgasaustrittstemperatur, die eine intensive Rohgasabkühlung erfordert, zu beachten.
- Klassische Wirbelschichtverfahren arbeiten bei relativ niedrigen Temperaturen, so dass die Reaktionsträgheit des Reaktorgraphits zu einer unvollständigen Umsetzung führen wird. Auf Grund der Aschearmut des Reaktorgraphits könnte die bei klassischen Einsatzstoffen begrenzende Ascheschmelztemperatur hier unproblematisch für eine Temperaturanhebung sein.
- Festbettverfahren erfordern für Reaktorgraphit den geringsten Aufbereitungsaufwand, jedoch kann der dabei entstehende Feinanteil nicht direkt mit dem Grobkorn in den Vergasungsreaktor gegeben werden. Eine größere Körnung erfordert für einen vollständigen Kohlenstoffumsatz eine längere Verweilzeit, die jedoch im Festbett gut einstellbar ist. Außerdem wird die thermische Energie des heißen Rohgasstroms intensiv im Vergaser zur Aufheizung des Vergasungsstoffes genutzt.

- Um ggf. radioaktiv belastete Rückstände sicher aus dem Vergaser zu entfernen, können bei den schlackenden Vergasungsprinzipien zyklisch Zuschlagstoffe mit niedriger Schmelztemperatur wie Basalt zugegeben werden, die die Reststoffe glasartig und nicht auslaugbar einbinden. Eine diesbezügliche Optimierung ist erforderlich, um die belasteten Stoffströme, die einer Endlagerung zugeführt werden müssen, zu minimieren.
- Sollten die im Vergaser erzeugten Rohgasqualitäten nicht der optimalen Zusammensetzung für die Isotopenabtrennung entsprechen, ist die Option einer nachgeschalteten Gaskonvertierung zu prüfen.

4. Geplante Weiterarbeit

Die geplanten Weiterarbeiten betreffen die Weiterführung des AP 320 und AP 330 (Untersuchung des Konversionsverhaltens und Identifikation geeigneter Konversionsprozesse) und den Beginn des AP 340 (Entwicklung der Prozesskette für die Vergasung). Die nächsten Schritte umfassen im Detail:

- weiterführende kinetische Untersuchungen zum Einfluss des Reaktionsmittels im DMT/TGA-System (H_2O und $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$) sowie des Partialdruckeinflusses,
- weiterführende Entwicklung eines geeigneten Vergasungsverfahrens auf Grund der experimentell ermittelten Prozessparameter,
- Beginn der Entwicklung thermodynamischer Modelle auf der Basis der Software ASPEN Plus.

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: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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:

- AP 1 Voruntersuchungen an unbestrahlten Graphitproben
- AP 2 Voruntersuchungen an bestrahlten Reaktorgraphitproben
- AP 3 Herstellung von Referenz-Probenmaterial für die AMS-Messungen

- AP 4 Entwicklung des Gassystems mit Elemental Analyzer und Verbindung zur AMS-Anlage
- AP 5 Test des Gassystems zur Verdünnung über die Charakterisierung der bestrahlten Referenz-Graphitproben
- AP 6 Betrachtung und Bewertung von möglichen Entsorgungspfaden vor dem Hintergrund der Ergebnisse
- AP 7 Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen
- AP 8 Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf mögliche Freigabepfade und die Charakterisierung radioaktiver Abfälle
- AP 9 Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse
- AP 10 Verbundkoordination und Projektmanagement

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

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

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

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

Die begonnenen Arbeiten zur Betrachtung und Bewertung möglicher Entsorgungspfade im nationalen und internationalen Umfeld wurden fortgesetzt. Es wurde eine Literaturrecherche zum Thema Reaktorgraphit betrieben, die den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik abbildet. Diese Recherche umfasst neben grundlegenden Eigenschaften und die Wechselwirkung mit typischen Strahlungsfeldern auch die Charakterisierung und die Entsorgungsproblematik. Die Ergebnisse dieser Recherche wurden dokumentiert und befinden sich in einem fortgeschrittenen Entwurfsstadium.

AP 7: Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen

Im Berichtszeitraum wurde versucht Kontakt mit dem belgischen Kernforschungszentrum SCK•CEN aufzunehmen, um über die Bereitstellung von Graphitproben aus einem belgischen Forschungsreaktor zu sprechen. Bisher war es jedoch nicht möglich, konkrete Absprachen zu treffen.

Alternativ gab es einen Austausch hinsichtlich der Akquise von Graphitproben von den kerntechnischen Versuchs- und Prototypanlagen am Standort Karlsruhe KIT Campus Nord. Dem Verbundpartner Uni Köln wurde im Berichtszeitraum Probenmaterial zur Verfügung gestellt, die in der zweiten Jahreshälfte 2020 gemessen werden sollen.

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

Die vorbereitenden Arbeiten wurden fortgesetzt. Es wurden auf Basis einer Literaturrecherche verschiedene Behandlungsstrategien betrachtet, bei denen der Fokus auf thermischen und chemischen Verfahren lag.

Die für das Jahr 2020 vorgesehene Reise nach Sydney, Australien zur AMS-15 Konferenz wurde aufgrund der COVID-19 Pandemie durch den Veranstalter abgesagt und ins Jahr 2021 verschoben. Ein entsprechender Änderungsdienst zur Verschiebung der Reisedaten in das Jahr 2021 wurde beantragt und genehmigt.

AP 9: Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse

Im Berichtszeitraum haben keine Arbeiten in diesem AP stattgefunden.

AP 10: Verbundkoordination und Projektmanagement

Im Berichtszeitraum fanden Arbeiten zur Verbundkoordination statt, wie z. B. die Organisation regelmäßiger Projekttreffen. Durch die Einschränkungen aufgrund der COVID-19-Pandemie wurden Projekttreffen per Videokonferenz durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die begonnenen Arbeiten zur Betrachtung und Bewertung möglicher Entsorgungspfade im nationalen und internationalen Umfeld werden fortgesetzt (AP 6).

Es ist zu erwarten, dass die ersten Proben aus Karlsruhe massenspektrometrisch vermessen werden können. Im Anschluss erfolgt eine erste Betrachtung der Messergebnisse. Parallel werden weitere Anstrengungen zur Akquise weiterer Graphitproben aus kerntechnischen Anlagen erfolgen (AP 7).

Sobald Ergebnisse aus den geplanten AMS Messungen vorliegen, kann mit der Aufarbeitung für kommende Präsentationen des Vorhabens begonnen werden. Diese Daten dienen auch als Basis der Arbeiten im AP 6 und AP 8 die entsprechend nachgezogen werden.

Die Ergebnisse der bisherigen Recherche im Rahmen des AP 6, soll im Rahmen von AP 9 für die spätere Veröffentlichung als Teil des Abschlussberichtes vorbereitet werden.

Die Arbeiten zur Verbundkoordination werden wie bisher fortgesetzt (AP 10).

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 ⁴¹Ca im Bioschild eines Leistungsreaktors mittels AMS“, (BMU-Vorhaben 3617R01364). Dieses Vorhaben wurde zum 30. Juni 2020

abgeschlossen. In diesem Vorhaben wurde untersucht, inwieweit sich AMS zur Charakterisierung von Reaktorbeton im Hinblick auf schwer messbare Radionuklide wie z.B. Ca-41 eignet. Die Ergebnisse sind im zugehörigen Abschlussbericht dokumentiert.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum wurde keine Ergebnisse oder Teilergebnisse veröffentlicht.

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:

- AP 1 Voruntersuchungen an unbestrahlten Graphitproben
- AP 2 Voruntersuchungen an bestrahlten Reaktorgraphitproben
- AP 3 Herstellung von Referenz-Probenmaterial für die AMS-Messungen

- AP 4 Entwicklung des Gassystems mit Elemental Analyzer und Verbindung zur AMS-Anlage
- AP 5 Test des Gassystems zur Verdünnung über die Charakterisierung der bestrahlten Referenz-Graphitproben
- AP 6 Betrachtung und Bewertung von möglichen Entsorgungspfaden vor dem Hintergrund der Ergebnisse
- AP 7 Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen
- AP 8 Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf mögliche Freigabepfade und die Charakterisierung radioaktiver Abfälle
- AP 9 Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse
- AP 10 Verbundkoordination und Projektmanagement

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

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

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

Die Arbeiten zu Voruntersuchungen an unbestrahlten und bestrahlten Graphitproben (AP 1 und 2) wurden im Berichtszeitraum fortgesetzt. Hierzu wurden Röntgenfluoreszenzanalysen (XRF) und Neutronenaktivierungsanalysen durchgeführt. AP1 ist damit abgeschlossen. Die Arbeiten zum Aufbau des Gassystems wurden fortgesetzt (AP 4) und sind nahezu abgeschlossen. Referenzprobenmaterial für die Messungen in AP5 (Test des Gassystems) wird derzeit vorbereitet; ebenso liegen erste reale Proben aus Anlagen vor, so dass trotz vorhergegangener Verzögerungen der Terminplan eingehalten werden kann. Eine erste peer--review-Publikation ist erschienen (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. Eine *peer reviewed* Veröffentlichung wurde eingereicht und angenommen:

Markus Schiffer, Alexander Stolz, Erik Strub, Susan Herb, Matthias Dewald, Raphael Margreiter, Timm-Florian Papst, Kevin Geusen, Yannik Jakobi, Gereon Hackenberg, Claus Mueller-Gatermann, Stefan Heinze, Alfred Dewald

[Ion beam techniques for nuclear waste management](#)

EPJ Web of Conferences 232 (2020) 02004

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 31.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9411
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität München, ZTWB Radiochemie München (RCM)	
Vorhabenbezeichnung: Verbesserung der quantitativen Datenauswertung für die zerstörungsfreie Charakterisierung radioaktiver Behälter und Objekte (Quant)	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.05.2019 bis 30.04.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 943.315,14 €
Projektleiter: Dr. Christoph Lierse von Gostomski	E-Mail-Adresse des Projektleiters: Christoph.lierse@tum.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die geplanten Arbeitsschritte sind:

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Die Arbeiten im Berichtszeitraum konzentrierten sich im Wesentlichen auf die Arbeitspakete 2 bis 5.

Für die Entwicklung eines Voxel-Modells (AP 2) wurde nach einer umfassenden Literaturrecherche beschlossen auf eine Eigenentwicklung nach Möglichkeit zu verzichten. Es sollte zunächst geprüft werden, inwieweit bestehende Open Source Lösung hierfür eingesetzt werden können. Für eine vertiefte Untersuchung wurde das Programmpaket „AMRex“ ausgewählt, eine in zahlreichen Anwendungsgebieten (Verbrennungsverhalten, Strömungsmechanik, Astrophysik, Beschleuniger etc.) eingesetzte Implementierung des „adaptive mesh refinement“ (AMR) Verfahrens. Nach der erfolgreichen Implementierung des Programmpakets unter dem von uns genutzten Betriebssystem Windows, wird aktuell an der Implementierung des „box-intersect“-Algorithmus zur Berechnung der Zählraten auf Basis der im Mesh gespeicherten Materialverteilung gearbeitet. Diese Arbeiten werden überwiegend von der Firma Marschelke Messtechnik (Unterauftragnehmer) übernommen.

Unter AP 4 wurde die Auswertung von segmentierten Gamma-Scan Messdaten mittels des Markov-Chain-Monte-Carlo (MCMC)-Algorithmus auf zweidimensionale Aktivitätsverteilungen erweitert und zahlreiche Berechnungen zu dessen Überprüfung und Charakterisierung durchgeführt. Insbesondere wurde das Verhalten von Punktquellen in Abhängigkeit ihrer Position in einem exakt definierten Gebinde systematisch untersucht und anschließend auf mehrere Punktquellen und Flächenquellen erweitert. Wie zu erwarten, zeigte der MCMC-Algorithmus ein robustes Verhalten für Quellen die eine eindeutige Struktur in der gemessenen Zählratenverteilung aufweisen (z. B. im Randbereich der Gebinde). Ist aufgrund der Zählratenverteilung diese Unterscheidung nicht möglich, so treten Ambiguitäten auf, die sich in Verteilung im Lösungsraum manifestieren. Diese Verteilungen berücksichtigen alle potentiell mit den Messdaten vereinbaren Lösungen und drücken das Fehlen ausreichender Informationen aus.

Weitere Tests dienten der Verifikation des Algorithmus. Insbesondere wurden analytisch zugängliche Spezialfälle untersucht und mit den Ergebnissen des Algorithmus verglichen. Hierdurch konnten Fehler im Algorithmus identifiziert und behoben werden.

Einhergehend mit den Arbeiten zu AP4 wurden in AP 5 die Verfahren zur Simulation von Messdaten weiterentwickelt. Dies betraf u. a. auch die Simulation der Messdaten der Digitalen Rotations Radiographie (DRR) für ein homogenes Voxelmodell (d. h. ohne AMR). Der hierfür entwickelte adaptierte Box-Intersect-Algorithmus wurde zur Simulation der Transmissionsdaten für die bei RCM verwendeten Detektor- und Quellenanordnung erweitert und kann prinzipiell auch an andere Messanordnungen angepasst werden. Im speziellen sind mit dem entwickelten Algorithmus nun auch Simulationen beliebiger inhomogener Materialverteilungen im Messobjekt möglich. Ein entwickeltes Softwareinterface zum verwendeten ROOT-Framework ermöglicht nunmehr den Import von Geometrien, die mit dem in ROOT implementierten Constructive-Solid-Geometry (CSG) Modellierer erstellt wurden, in das Voxelmodell.

Der Simulation liegt ein mathematisches Modell (AP 3) unter Verwendung einer Gewichtsmatrix zugrunde, welche die Beiträge eines jeden Voxels zu einem simulierten Messwert beschreibt. Diese algebraische Formulierung ermöglicht prinzipiell auch die Formulierung des inversen Problems, d. h. der linearen Schwächungskoeffizienten als Funktion der (simulierten) Messdaten. Eine Anwendung dieser Methode ist aufgrund der bekannten Probleme bei inhomogenen Gleichungssystemen nicht zielführend und wird nicht weiter berücksichtigt.

Für die Unterstützung bei der weiteren Entwicklung geeigneter Modelle (AP 3) wurde zum Ende des Berichtszeitraum die Hochschule Heilbronn als Unterauftragnehmer gewonnen. Ersten Gespräche hinsichtlich der durchzuführenden Arbeiten wurden getätigt, wobei zunächst das Hauptaugenmerk auf der Überprüfung und Verifikation der bislang entwickelten Modelle liegt.

Erste segmentierte Gamma-Scan-, Radiographie- und Tomographie-Messungen an Kalibrationsfässern mit bekannter Matrix und bekannten Radionuklidquellen wurden vorgenommen, um Datensätze zur Verifizierung der bislang erzielten Ergebnisse zur Verfügung zu haben.

4. Geplante Weiterarbeit

In einem nächsten Schritt soll der MCMC-Algorithmus von seiner aktuellen zweidimensionalen Funktionalität auf die dritte Dimension erweitert werden. Grundlagen hierfür wurden bereits während der Entwicklung der Simulationsverfahren für die Digitale Rotations-Radiographie (DRR) erarbeitet.

Ein weiterer Schwerpunkt soll in der Überarbeitung der bestehenden und der Entwicklung möglicher neuer Modelle für die Auswertung der Emissions- und Transmissionsmessungen liegen. Dies soll von einer umfassenden Charakterisierung der Algorithmen auf der Grundlage von Messdaten aus der täglichen Praxis bei RCM begleitet werden. Insbesondere sollen die Ergebnisse mit den aktuell bei RCM eingesetzten Auswerteverfahren verglichen werden.

Für die Berechnung der im Detektor registrierten Intensität der von einer im Gebinde befindlichen radioaktiven Quelle Gamma-Strahlung wird für die Berücksichtigung der Schwächungseigenschaften die räumliche Verteilung der linearen Schwächungskoeffizienten entlang des Weges von der Quelle zum Detektor benötigt. In einem ersten Schritt wird diese mit einem tomographischen Messverfahren mit einer ^{60}Co -Transmissionsquelle durch Simulation und Messung ermittelt. Aufgrund der Energieabhängigkeit der linearen Schwächungskoeffizienten werden für andere Emissionsenergien als für ^{60}Co entsprechend korrigierte Werte benötigt. Diese sollen aus den tomographischen (Mess-)Daten durch Einbindung weiterer Informationen, wie z. B. über die in der Matrix enthaltenen Materialien, in Form eines geeigneten Priors im MCMC-Algorithmus Berücksichtigung finden. Der erforderliche Übergang von einer Tomographie zur Radiographie als Basis für die Berücksichtigung der Matrixeigenschaften wird daran anschließend zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen.

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, https://s3.amazonaws.com/amz.xcdsystem.com/A464D2CF-E476-F46B-841E415B85C431CC_abstract_File498/FinalPaperPDF_20197_0123121044.pdf

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9420
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) Institut für Technologie und Managen im Baubetrieb (TMB) Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebinde	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2020 bis 31.12.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.588.164,16 € (inkl. Projektpauschale)
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing Sascha Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiter/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Gesamtziel des Forschungsprojekts EMOS ist eine mobile Inspektionseinheit, die fernhantiert und automatisiert die gesamte Fassoberfläche, einschließlich Deckel und Boden, optisch erfasst, analytisch auswertet und sowohl elektronisch speichert, als auch die Ergebnisse in Form eines Inspektionsberichts ausgibt. Auf diese Weise können wiederkehrende Überprüfungen des Fassbestands unter immer gleichen Prüfbedingungen absolviert werden. Ein entscheidender Vorteil ist die Möglichkeit einer fernhantierten Durchführung der Inspektion, um die Strahlendosis der Mitarbeiter vor Ort zu reduzieren.

Die optische Auswertung, Darstellung und Ausgabe der Ergebnisse wird durch eine speziell zu entwickelnde Software eine exaktere Überprüfung und Analyse der Fassoberflächen gewährleisten, als dies durch manuelle und visuelle Inspektionen möglich ist, wie sie aktuell in den Zwischenlagern ausgeführt werden.

Das kontinuierliche Monitoring der lagernden Fassgebinde wird erleichtert und auch die Rückverfolgung einer möglichen Schadensentwicklung durch den Abgleich von archivierten Messergebnissen ist ein neuartiges und starkes Instrument, das dazu beiträgt, die Sicherheitsaspekte der Zwischenlagerung zu erhöhen und langfristig zu gewährleisten.

Korrosionsschäden können mit Hilfe der Inspektionseinheit bereits in einem sehr frühen Stadium, identifiziert werden und es können frühzeitig Maßnahmen getroffen werden, die dem Verlust der Integrität der Lagerbehälter entgegenwirken.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP1 (Grundlagenerarbeitung): Recherchearbeiten, Ideenentwicklung, Erstellung und Abstimmung eines Anforderungsprofils, Zusammenstellung der möglichen Komponenten

AP2 (Vorstudie): Vorversuche zur Auslegung und Komponenten der Anlage, Vorversuche zur Konfiguration der Kamera- und Laserkomponenten und der optischen Aufnahme, Durchführung von Versuchen zur Detektion von Reaktionen im Fassgebinde und Korrosionsentstehung in einem frühen Stadium (zusätzlich)

AP3 (Konzeptphase): Abgleich und Anpassung des Entwurfs mit KTA-Regelwerk und DIN-Normen für die Produktanwendung im kerntechnischen Bereich, Ausarbeitung eines abschließenden Entwurfs des kompletten Systems, Konzepterstellung, eine Auswertung der

Versuche zur Detektion von Korrosion und Reaktion im Inneren des Fassgebundes und Erstellung eines zusätzlichen Projektantrags (zusätzlich)

AP4 (Software-Entwicklung): Überführung der Aufnahmen in lokales Koordinatensystem, automatische Erkennung von Schadstellen aus Bildern, automatische Analyse des 3D-Profiles der Oberfläche

AP5 (Erstellung Demonstrator 1.0): Bau des Systems (Demonstrator 1.0), Einbau des optischen Aufnahmesystems in den fertiggestellten Demonstrator 1.0 (M2)

AP6 (Feineinstellungs- und Testphase): Testphase und Kalibrierung des gesamten Aufnahmesystems, Anpassung von Änderungen aus der Testphase auf das ausgearbeitete Konzept aus Arbeitspakets 3

AP7 (Validierungsphase): Anpassung, Validierung und Verbesserung der Hard- und Software, Testaufnahmen mit kalibriertem, optischem System, Test der automatischen Prozessierung

AP8 (Iterationsphase und Bau Demonstrator 2.0): Wiederholung erforderlicher Schritte der Arbeitspakete 6 bis 8 bis zur finalen Reife des Demonstrators 1.0 (M3), Bau und Test des praxistauglichen Demonstrators 2.0

AP9 (Praxisphase und Abschlusstest): Testläufe unter realen Bedingungen, erneute Anpassung, Validierung und Verbesserung der Hard- und Software bis zur finalen Reife Demonstrator 2.0 (M4)

AP10 (Evaluationsphase): Evaluation des gesamten Vorhabens, Ausarbeitung von Ergebnispräsentationen

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse (mit Referenz zu Schwerpunkten in AP1)

Im **AP1** hat das Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (**TMB**) mit dem Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (**IPF**) zusammengearbeitet.

a. Rechercharbeiten

TMB: Eine ausführliche Recherche zu Funktion und Bau der Inspektionsanlage wurde durchgeführt, insbesondere zur Detektion von Schadstellen und Korrosionserscheinungen, mit Fokus auf der Entstehung von Korrosion an lagernden radioaktiven Fassgebunden.

IPF: Eine Recherche inkl. Literaturstudie zur industriellen Datenerfassung mittels Laser-Lichtschnittverfahren wurde durchgeführt. Die entsprechenden Kenntnisse bzgl. der Erfassung von Objekten mittels Kameras liegen am Institut bereits vor. Ergänzend wurde eine Schulung für den Einsatz und die Auswertung von Lichtschnittsensoren – inklusive der Aufklärung über verschiedene Laserklassen – der Firma LMI Gocator besucht. Parallel wurden Angebote zum Preisvergleich der Sensoren eingeholt, einschließlich der Eruierung der Eignung von Lichtschnittsensoren zur Erfassung glatter Fassoberflächen. Für die notwendigen Vorversuche und Testmessungen konnten bereits zwei Fässer beschafft werden.

3.2 Ideenentwicklung

Ideen zum Aufbau und zur Konzeption der Inspektionseinheit und des optischen Prüfsystems wurden gemeinsam vom **TMB** und **IPF** entwickelt und verschiedene Varianten ausgearbeitet.

3.3. Erstellung und Abstimmung eines Anforderungsprofils

Um optimale Messbedingungen zu erzielen und die Inspektionseinheit mobil zu halten, wird das gesamte System in einem geschlossenen Container ausgeführt. Um die gesamte Fassoberfläche, einschließlich Deckel und Boden, fernhantiert und automatisiert zu erfassen, werden ein Fördersystem (Förderband mit integriertem Drehteller) und ein Fasshandling (Fassgreifer oder Fasskippanlage) benötigt. Die geometrische Vermessung der Fassflächen erfolgt mittels eines bzw. zweier Lichtschnittsensoren und die radiometrische Aufnahme der Fassflächen erfolgt mittels einer bzw. zweier Kameras. Im Rahmen des Forschungsprojekts EMOS werden ausschließlich 200 I – Fässer inspiziert. Nach Rücksprache mit der KTE – Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe, welche eines der größten Zwischenlager Deutschlands betreibt – und mit den KAH – Kraftanlagen Heidelberg, welche mehr als 40 Jahre in verschiedenen Gebieten der Nukleartechnik tätig sind – wurden die Fasstypen A 200 (Pilzdeckel C3), R 200 (Pilzdeckel C3) und RRF 200 (Greifringdeckel C2) als Probestücke ausgewählt.

In Anlehnung an den Entwurf der Gesamtanlage wurde das optische Prüfsystem abgestimmt und notwendige Geräteanforderungen wurden festgelegt. Dies erfolgte in enger Abstimmung zwischen **TMB** und **IPF**.

3.4 Zusammenstellung der möglichen Komponenten

TMB: Nach der Erstellung und Abstimmung eines Anforderungsprofils, wurde ein erster Entwurf der Inspektionsanlage, der Teilsysteme und des Gesamtsystems erstellt. In diesem Zusammenhang wurden Überlegungen zur Auswahl der Messtechnik durchgeführt.

IPF: Abhängig von der gewählten Variante setzt sich das optische Prüfsystem aus einer entsprechenden Anzahl an Laser-Lichtschnittsensoren und Farbkameras zusammen. Die Anzahl und spezifischen Eigenschaften der Sensoren ergeben sich je nach Variante. Beispielsweise ergeben sich die Auswahl der Länge der Laserlinie sowie die Berechnung geeigneter Brennweiten aus der Kamerasensorgröße für die aus der Anlagendimension vorgegebenen Abstände.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In den nächsten Monaten sind Besichtigungen diverser Zwischenlager geplant, welche ursprünglich im Rahmen von **AP1** stattfinden sollten. Bei dieser Gelegenheit sollen Informationen zu gelagerten Abfallgebinden sowie Art und Umfang der derzeit praktizierten Inspektionen erworben werden.

Parallel dazu erfolgt in **AP2** die Auswahl geeigneter Messtechnik für den zu entwickelnden Demonstrator, basierend auf den Vorversuchen. Außerdem beginnt die Einholung von Angeboten sowie die Beschaffung der erforderlichen Grundausstattung zum Bau der Inspektionseinheit, einschließlich mehrerer Testgebinde.

Anschließend wird in **AP3** der Entwurf des kompletten Systems mit dem KTA-Regelwerk und den DIN-Normen für die Produkthanwendung im kerntechnischen Bereich abgeglichen und ggf. angepasst.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Kurzvorstellung des Projektes auf der Homepage des TMB:
https://www.tmb.kit.edu/Forschung_4703.php

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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 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, um 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 AP 1 (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.

AP 2 (Weiterentwicklung und Etablierung einer automatisierten Dokumentation) dokumentiert die Veränderungen mit einem Multiscanner- und LIDAR-System zur digitalen Kartierung von Wachstum und Vitalitätsfaktoren.

AP 3 (Stickstofffixierung durch Anpflanzen von Wirtspflanzen) widmet sich stickstofffixierenden Bakterien und der Stickstoffspeziation in Grund- und Porenwässern.

In AP 4 (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.

AP 5 (Kurzumtriebsplantagen auf trockenen und grobkörnigen Standorten) befasst sich mit Endomycorrhizapilzen und ihrer Kombination mit Ektomykorrhiza und Bodenmikroflora.

AP 6 (Erosionsschutz durch Unterpflanzung) wird Erosion beobachten und der Schutz durch Einsaat von Gräsern auf den Abtrag wird erfasst.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

(AP 1, 4 und 5) Die jährliche Bestimmung der Bodenatmung, Mikrobiologie und Bonitur des Wachstums der Bäume sowie die Bestimmung der Beikräuter und Bodenanalysen wird analysiert und in Bezug zu Vorergebnissen gesetzt. Im Dezember erfolgte die erste Baumernte auf dem Testfeld Gessenwiese, deren Biomasse analysiert wird. Die Mikrobiomanalysen mit den Proben aus 2019 zeigen die Nachhaltigkeit der Inokulation.

(AP 2) Die Drohnenbefliegung wurde Anfang November 2019 vor der Ernte der Baumbiomasse durchgeführt. Die Validierung dieser Daten mit den vor Ort erhaltenen Messwerten zeigen gute Übereinstimmungen mit den Boniturdaten der Baumhöhen (+-10 % Abweichung).

(AP 3) Stickstofffixierung durch Actinorhiza konnte durch Auffinden der Assoziation untermauert werden. In einer detaillierten Probenkampagne werden Bodenwässer untersucht, was aufgrund der Corona-Beschränkungen noch nicht abgeschlossen werden konnte. Zwei Probenahmen im März und Mai 2020 wurden dennoch durchgeführt und die gewonnenen Proben mittels NTA und LC-OCD-OND auf den Gehalt an nanopartikulärer Phase und via ICP-MS auf die Spurenelemente untersucht.

(AP 5) Wechselwirkungen zwischen Ekto- und Endomycorrhiza konnten für verschiedene Baumarten gezeigt werden.

(AP 6) Auf den trockenen und nährstoffarmen Testflächen Erosionsplot und Plateauplot am Kanigsberg zeigt sich, dass die Unterpflanzung mit *Festuca rubra* einen signifikanten Einfluss auf das Baumwachstum hat. Die Bodenmikrobiologie ist hier ebenfalls verändert.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 1: Die Inokulation konnte aufgrund der Corona-Krise im Frühjahr 2020 nicht erfolgen. Wir betrachten dies aber als Chance, die Nachhaltigkeit über 2 Jahre hinweg zu untersuchen. Davon abhängig wird die Inokulation für 2021 geplant oder dann ebenfalls keine erfolgen. Dazu sind vermehrt bodenmikrobiologische Untersuchungen durchzuführen. Bonitur des Wachstums der Bäume, Bestimmung der Beikräuter und Bodenanalysen erfolgen wie geplant weiterhin.

AP 2: Die Anwendung des multispektralen Analysesystems, Validierung der automatisierten Erfassung des Baumwachstums und der Bodenverlagerung werden im Juli 2020 fortgeführt. Weiterhin erfolgt die Bestimmung der Biomasseproduktion mit den ermittelten Daten der Baumhöhe (LIDAR) sowie der computergestützten Berechnung der Baumvolumina. Die Validierung der Daten erfolgt mit dem Abgleich der Biomasseergebnisse der Ernte 2019.

AP 3: 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 erfolgen wie geplant.

AP 4: 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.

AP 5: Co-Kulturen, Mikrobiomanalysen, Wasser- und Nährstoffaustausch durch Untersuchung stabiler Isotope werden weitergeführt.

AP 6: Schwermetallgehalte der geernteten Lignocellulose, (wiederholte) Einsatz von *F. rubra*, Entwicklung des Forstroggens, LIDAR-Untersuchungen sowie Chlorophyllfluoreszenzmessung und Größenbestimmung der Bepflanzungen erfolgen wie geplant.

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

Boczonádi I, Jakab Á, Baranyai E, Tóth CN, Daróczy L, Csernoch L, Kis G, Antal M, Pusztahelyi T, Grawunder A, Merten D, Emri T, Fábíán I, Kothe E, Pócsi I. 2020. Rare earth element sequestration by *Aspergillus oryzae* biomass. *Environ Technol* 16: 1-11.

Hanka Brangsch (2020) Genetic modification of heavy metal resistant *Streptomyces* sp. Strains. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Jenny Shrestha (2020) Metal tolerance and accumulation by *Schizophyllum commune*. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Judith Hoffmann (2020) Glutathion-S-Transferasen und Schwermetallstress bei *Tricholoma vaccinum*. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Kirtzel J, Ueberschaar N, Deckert-Gaudig T, Krause K, Deckert V, Gadd GM, Kothe E. 2020. Organic acids, siderophores, enzymes and mechanical pressure for black slate bioweathering with the basidiomycete *Schizophyllum commune*. *Environ Microbiol* 22: 1535-1546.

Krause K, Jung EM, Lindner J, Hardiman I, Poetschner J, Madhavan S, Matthäus C, Kai M, Menezes RC, Popp J, Svatoš A, Kothe E. 2020. Response of the wood-decay fungus *Schizophyllum commune* to co-occurring microorganisms. *PLoS One* 15: e0232145.

Marlene Höller (2020) Differential gene expression study of *Streptomyces* under nickel and thioestrepton stress. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Viola Zertani (2019) Einfluss von elementarem Eisen und Magnetit auf die Remediation von arsenhaltigen Böden mit *Festuca rubra*. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9401A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Universität Kassel – Fachbereich Maschinenbau Institut für Arbeitswissenschaft und Prozessmanagement Arbeits- und Organisationspsychologie 34132 Kassel	
Vorhabenbezeichnung: SiKoR – Sicherer und kosteneffektiver Rückbau	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2017 bis 31.10.2020	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 522.776,40 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Oliver Sträter	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: straeter@uni-kassel.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Kommunikation, Koordination, Dokumentation & Veröffentlichung.

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

AP 3.1: Auswahl kritischer Rückbautätigkeiten.

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

AP 5: Integration der erarbeiteten Ergebnisse.

AP 6: Validierung.

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

Die Auswahl kritischer Rückbautätigkeiten (**AP 3.1**) und deren Integration in die Risikobewertungen menschlicher Fehlhandlungen mittels der HRA-Methode CAHR (**AP 4.1**) wurden abgeschlossen und mit dem Verfahrens- (**AP 2.2**) und Maschinenkatalog (**AP 3.2**) des TMB zusammengeführt. Im Rahmen dieser Integration wurde ein Tool zum Nachschlagen der Informationen entwickelt. Während eines Safety-Scannings kann dieses Programm zur Unterstützung verwendet werden. Zusätzlich wurden weitere Verbesserungen am bereits bestehenden Safety-Scanning-Tool vorgenommen.

Im Juni 2020 wurde gemeinsam mit den Kollegen/-innen des TMB die Anwendung des Safety-Scanning zur Planungsunterstützung im Rahmen eines Rückbauszenarios getestet. Aufgrund der aktuellen Kontaktbeschränkungen wurde das Planungsszenario virtuell per Zoom durchgeführt. Die Teilnehmer/-innen übernahmen jeweils eine von zehn Rollen, z. B. kaufmännische Leitung, Sicherheitsbeauftragter und Fachunternehmen. Nach einer kurzen Vorstellung des Szenarios - die Zerlegung eines Reaktordruckbehälters - leitete der Moderator die Diskussion anhand des Fragenkatalogs zu Themen wie Strahlenschutz, Abfallmanagement und Kommunikation.

Unter Berücksichtigung des Verfahrens- und des Maschinenkatalogs sowie der menschlichen Risikobewertungen konnten die verschiedenen Stakeholder ihre Ansichten und Bedenken hervorbringen und diskutieren, wobei der Moderator die Gleichberechtigung aller Beteiligten sicherstellte. So konnten die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Verfahren aus verschiedenen Standpunkten besprochen und Zielkonflikte aufgelöst sowie eine gemeinsame Entscheidung über das Vorgehen getroffen werden.

Die Umsetzung als virtuelle Moderation war ein neuer Aspekt des Vorhabens und zeigt, dass das Tool auch in virtuellen Teams eingesetzt werden kann.

The screenshot displays the 'SafetyScanning' application window. The interface is divided into a left sidebar and a main content area. The sidebar, titled 'SiKoR Scanning', lists various categories with progress indicators: Ausgangszustand der Anlage (0%), Gewünschter Zielzustand (0%), Strategie und Technologie (0%), Gesetze und Regularien (0%), Finanzen (33%), Kostenplanung, Unvorhergesehene Kosten, Ressourcen, Sicherheit (0%), Abfallmanagement (0%), Security (0%), Organisation (0%), Personal (0%), and Kommunikation (0%). The main content area is titled 'Kostenplanung' and contains several sections:

- Kostenplanung**: A question 'Werden Unterlagen zur Kostenstruktur ähnlicher Rückbauprojekte zur Planung herangezogen?' with a 'Zustand' (1-5) and 'Handlungsbedarf' (nein, vielleicht, ja) section. A text box contains 'Würgassen, Abfallmig ist abh. vom Verfahren, Einsatzdauer Personal'.
- Kostenplanung**: A question 'Werden zum Zweck einer realistischen Kostenplanung alle relevanten Stakeholder einbezogen?' with a 'Zustand' (1-5) and 'Handlungsbedarf' (nein, vielleicht, ja) section. A text box contains 'Framatom mit Firmen getestet -> TÜV sollte bei Mock-Up test dabei sein'.
- Unvorhergesehene Kosten**: A question 'Kann es bei unvorhergesehenen Kosten zu finanziellen Engpässen kommen?' with a 'Zustand' (1-5) and 'Handlungsbedarf' (nein, vielleicht, ja) section.
- Unvorhergesehene Kosten**: A question 'Kann es passieren, dass sich der Rückbauprozess aufgrund unvorhergesehener Kosten verzögert?' with a 'Zustand' (1-5) and 'Handlungsbedarf' (nein, vielleicht, ja) section.
- Ressourcen**: A question 'Sind genug finanzielle Mittel vorhanden, sodass keine Einsparungen auf Kosten der Sicherheit vorgenommen werden müssen?'.

Abbildung 1. Beispielhafter Ausschnitt des Safety Scannings

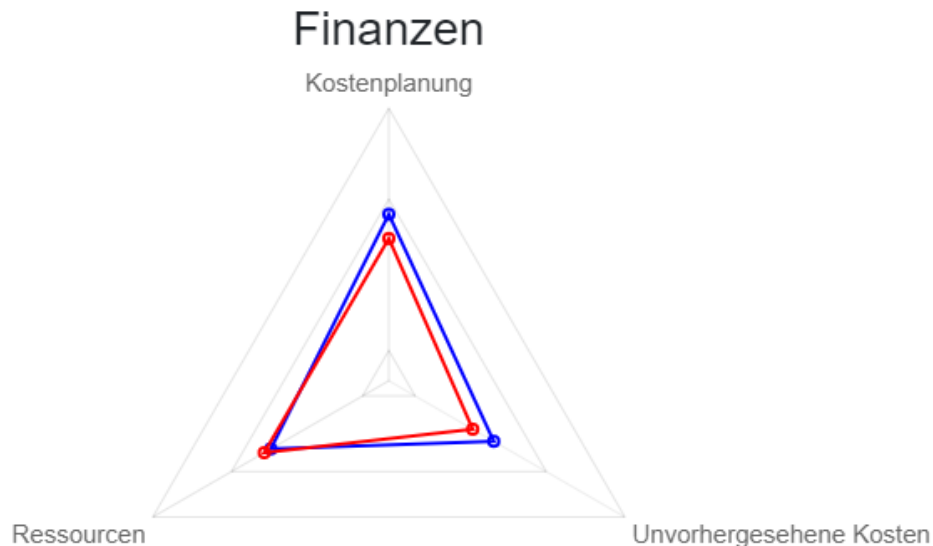


Abbildung 2. Beispielhafte Ergebnisdarstellung des Safety Scannings

Der Mock-up-Aufbau eines Rückbau-Szenarios in einem Laborraum des Fachgebietes A&O wurde abgeschlossen. Dazu wurde in dem Laborsetting mithilfe von Item-Profilen eine Aluminiumkonstruktion errichtet, welche eine zurückzubauende Komponente im kerntechnischen Rückbau darstellt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im September 2020 sollen die im Projektverlauf entwickelten Methoden auf der VDI-Fachkonferenz „Rückbau konventioneller Kraftwerke und Industrieanlagen“ im Rahmen einer Präsentation und einer Fachausstellung vorgestellt und dabei Interessenten zur Anwendung der Methode im Rückbau gewonnen werden.

Im Rahmen des Rückbau-Szenarios wird in dem unter Punkt 3 beschriebenen Setting eine Führungssituation simuliert, in welcher eine Führungskraft bzw. ein Aufsichtsführender vor Ort (AvO) einen zu führenden, für Rückbauarbeiten eingesetzten Mitarbeitenden im Sinne eines *remote support* aus der Ferne bzw. remote über die Medien Headset und Videoübertragung bei dessen Arbeit unterstützt. Der Mitarbeitende trägt bei seiner Arbeit neben dem Headset den Bewegungsanzug *cEYEBermanS* des Fachgebietes A&O, welcher über Körpersensoren eine Erfassung der Bewegungsparameter des Tragenden erlaubt sowie über Eye-Tracking dessen Blickverhalten aufzeichnet. Über eine Videoübertragung werden die auszuführenden Tätigkeiten des Mitarbeitenden in den *Digital Classroom* des Fachgebietes A&O übertragen, eine innovative, mit Videoleinwänden ausgestattete Lern- und Gruppenarbeitsumgebung, welche die auditive, durch das Headset ermöglichte Fernunterstützung des Mitarbeitenden durch den AvO optimiert. Auf Basis der Videoübertragung stellt der AvO über das Headset eine entsprechende Fernunterstützung im Sinne konkreter Handlungsanweisungen bereit.

Neben den Bewegungs- und Blickbewegungsparametern werden in dem Rückbau-Szenario im Rahmen einer am Fachgebiet anzufertigenden Dissertation einer Projektmitarbeiterin darüber hinaus die Kommunikationsgestaltung des AvO sowie deren Auswirkungen auf das emotionale Erleben des Mitarbeitenden untersucht und entsprechende Empfehlungen für eine *psychologisch sichere* Interaktions- und Kommunikationsgestaltung der Führungskraft abgeleitet.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	Förderkennzeichen: 15S9401B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften Institut für Technologie und Management im Baubetrieb 76131 Karlsruhe	
Vorhabenbezeichnung: SiKoR - Sicherer und kosteneffektiver Rückbau	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.11.2017 bis 31.10.2020	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 522.776,40 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm (KIT)

- AP 1: Kommunikation, Koordination, Dokumentation & Veröffentlichung
- AP 2.2: Zusammenstellung eines Verfahrenskatalogs
- AP 3.2: Erstellung eines Maschinenkatalogs
- AP 4.2: Technische Risikoidentifizierung
- AP 5: Zusammenfassung der erarbeiteten Ergebnisse
- AP 6: Validierung

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

AP2.2: Korrekturlesen des vorhandenen Verfahrenskatalogs, Formatierung für das Planungsunterstützungstools.

AP 3.2: Recherche, Erweiterung des Maschinenkatalogs, Erstellung der Formatierung für das Planungsunterstützungstools.

AP4.2: Eine Gefahren- und Risiken-Analyse für ausgewählte Maschinen wurde durchgeführt.

AP5: Mit dem Projektpartner wurde gemeinsam an der Formatierung des Verfahrens- und Maschinenkatalogs und der späteren Darstellung in der Planungsunterstützung gearbeitet.

AP6: Validierung der Planungsunterstützung mit dem Projektpartner. Erarbeiten einer konkreten Fragestellung und gemeinsame Durchführung einer Safety Scanning Session mit dem Projektpartner im Juni 2020.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP2.2: Anpassung und Erweiterung des Verfahrenskatalogs durch Ergebnisse der Safety Scanning Session.

AP 3.2: Erweiterung des Maschinenkatalogs. Einarbeitung der fehlenden Information, die bei der Safety Scanning Session ermittelt wurden.

AP5: Erweiterung des Maschinenkatalogs nach den festgelegten Vorgaben aus dem Verfahrenskatalog. Anpassungen, die speziell für den Maschinenkatalog gelten. Darstellung und Suchfunktion in der Planungsunterstützung mit Projektpartner erarbeiten.

AP6: Durcharbeiten der Safety Scanning Session mit Bezug den Verfahrens- und Maschinenkatalog zu erweitern.

Teilnahme an der VDI-Fachkonferenz „Rückbau konventioneller Kraftwerke und Industrieanlagen“. Das KIT-TMB wird die A&O Kassel bei der Präsentation und der Fachausstellung unterstützen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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 starke 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 und optimiert. 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 beim Rückbau anfallenden 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 weiterer 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 (AP 1). Mit Hilfe dieser Daten wird das Planungswerkzeug des abgeschlossenen Verbundvorhabens MogaMaR (Förderkennzeichen: 02S9113A und 15S9113A) getestet, um dessen Praxistauglichkeit nachzuweisen (AP 2). 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 (AP 3), welche die Bedienung des Planungswerkzeugs ohne große Vorkenntnisse ermöglicht und Fehler bei der Verwendung (bspw. durch inkonsistente Dateneingabe) verhindert. Das Planungswerkzeug wird mit Software gekoppelt, welche typischerweise beim Rückbau kerntechnischer Anlagen eingesetzt wird, allerdings den Plan nicht optimiert (AP 4). Dazu werden Schnittstellen zwischen dem Planungswerkzeug und solcher Software geschaffen. Für die Stoffstromplanung wird je Vorgang bestimmt, welche und wie viele Stoffe zeitlich definiert bei dessen Ausführung anfallen (AP 5). Hierzu werden die Stoffe in einer zuvor recherchierten und aufgestellten Klassifikation eingeordnet. Im Zuge der Abbildung von Stoffströmen im Planungswerkzeug wird zudem eine logistische Planung zum Umgang mit den Stoffströmen entwickelt und implementiert. Dies umfasst eine Reststoff- und Abfallplanung und die dafür benötigten Produktkontrollmaßnahmen (AP 6.1), die Planung von Logistik und Transport, Behandlung und Konditionierung (AP 6.2), eine Behälterplanung (AP 6.3) und die Erstellung einer Endlagerdokumentation (AP 6.4). Außerdem wird das Planungswerkzeug um weitere Funktionen, wie zu berücksichtigende alternative Ausführungsmöglichkeiten (sog. Multi-Mode-Fall) (AP 7.1), die Orte der Vorgangsausführung (AP 7.2) sowie die Berücksichtigung von Verbrauchsressourcen (AP 7.3) und Pufferlagern (AP 7.4) erweitert.

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

Das KIT hat, wie in AP 3 vorgesehen, ein theoretisches Konzept für die Erstellung einer Benutzeroberfläche entwickelt und den Projektpartnern vorgestellt. Darüber hinaus hat das KIT drei Arbeitsschritte des agilen Softwareentwicklungsprozesses (sogenannte Sprints) für das Planungswerkzeug durchgeführt, im Rahmen derer das Basisprogramm für die Projektablaufplanung jeweils um zusätzliche Funktionalitäten hinsichtlich der angestrebten Benutzerfreundlichkeit erweitert wurde. So erfolgen nun beispielsweise beim Einspeisen von Daten durch den Benutzer automatisierte Zulässigkeitsprüfungen bzw. Fehlerbehandlungen. Falls eine Zulässigkeitsprüfung fehlschlägt, stehen dem Anwender neue Schnittstellen zur Verfügung, um die zugrundeliegenden Ursachen auszulesen. Sämtliche Arbeitsschritte erfolgten in enger Abstimmung mit dem Projektpartner Gesellschaft für integrierte Systemplanung mbH (GiS), der die Erstellung der grafischen Benutzeroberfläche für das Planungswerkzeug parallel bearbeitet und verantwortet.

Ebenfalls in Zusammenarbeit mit der GiS wurde das Planungswerkzeug erfolgreich mit einem weiteren, realen Praxisdatensatz mit über 5000 Arbeitsschritten [Clustern] und einem Planungshorizont von 10 Jahren eines Energieunternehmens/Kernkraftwerksbetreibers getestet. Das KIT ergänzte dazu Funktionalitäten im Programmcode, um die spezifischen Anforderungen aus der vorgelegten Datenstruktur und den anwenderseitig getroffenen Planungsprämissen zu erfüllen. Beispielsweise wurde neben einer Optimierung des Projektablaufplans hinsichtlich der Projektlaufzeit auch die Möglichkeit geschaffen, die Priorität einzelner Projektvorgänge im kerntechnischen Rückbau zu gewichten und einzubeziehen. Desweiteren wurde die Möglichkeit geschaffen, vordefinierte manuell erstellte Pläne (Basispläne) einzulesen und die die Optimierung einzubeziehen bzw. als Grundlage zu nutzen. Außerdem wurde das Planungswerkzeug dahingehend erweitert, dass sich nun Vorgänge in der Optimierung fixieren lassen, die bspw. als Unterauftrag vergeben wurden und zeitlich terminiert und nicht verschiebbar sind.

Im Rahmen des AP 5 hat das KIT, wie im Zeitplan vorgesehen, mit der Weiterentwicklung des Planungswerkzeugs zur Einbindung von Stoffströmen begonnen. Zunächst wurde eine Literaturrecherche zu den bestehenden Ansätzen durchgeführt sowie basierend darauf ein Konzept für ein neuartiges Planungsverfahren entwickelt und getestet. Das Konzept wurde sowohl mit wissenschaftlichem als auch mit anwendungsorientiertem Fokus dokumentiert. Eine wissenschaftliche Veröffentlichung dazu ist in Vorbereitung.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Das KIT sieht entsprechend der Projektplanung eine Weiterarbeit an AP 4 und AP 5 vor. Dazu werden Programmierschnittstellen implementiert, die eine Einbindung der Stoffstromplanung in die existierende Projektablaufplanung ermöglichen. In Zusammenarbeit mit der GiS werden Möglichkeiten zur Kopplung mit bereits in der Praxis eingesetzter Software zur Stoffstromplanung erörtert. Nach erfolgter Kopplung ist geplant, das erweiterte Planungswerkzeug mit Praxisdaten zu testen.

Zudem wird das KIT mit dem Projektpartner GiS in AP3 bei der Entwicklung der Benutzeroberfläche zusammenarbeiten, insbesondere hinsichtlich der Definition und der Tests von Funktionalität der Benutzeroberfläche.

Darüber hinaus wird das KIT in AP 7 vorgesehene Weiterentwicklungen durchführen, insbesondere gemäß Zeitplan die Einbindung alternativer Ausführungsmöglichkeiten für Projektvorgänge in das Planungswerkzeug (sog. Multi-Mode-Fall) (AP 7.1).

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 AP 5 wurde ein Bericht „Vorstellung eines Modells zur Integration von Stoffströmen in die Projektplanung“ erstellt (nicht veröffentlicht). Des Weiteren wurde der aktuelle Projektstand auf der anwendernahen Fachkonferenz „7th Nuclear Decommissioning & Waste Management Summit“, organisiert von ACI, am 12. und 13. Februar 2020 in London (UK) in einer „plenary session“ vorgestellt und stieß auf großes internationales Interesse. Zudem wurden zwei Abstracts zu einer wissenschaftlichen Konferenz (IFORS Seoul, Juni 2020) eingereicht und angenommen. Die Konferenz wurde aufgrund der Corona-Pandemie in den August 2021 verschoben. Eine Vorstellung des entstandenen Prototyps an der ICOND 2020 im November 2020 ist anvisiert.

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020	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 (AP 1). Mit Hilfe dieser Daten wird das Planungswerkzeug des abgeschlossenen Verbundvorhabens MogaMaR (Förderkennzeichen: 02S9113A und 15S9113A) getestet, um dessen Praxistauglichkeit nachzuweisen (AP 2). 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 (AP 3), 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 (AP 4). 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 (AP 5). 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 (AP 6.1), die Planung von Logistik und Transport, Behandlung und Konditionierung (AP 6.2), eine Behälterplanung (AP 6.3) und die Erstellung einer Endlagerdokumentation (AP 6.4). Außerdem wird das Planungswerkzeug um weitere Funktionen, wie zu berücksichtigende alternative Ausführungsmöglichkeiten (sog. Multi-Mode-Fall) (AP 7.1), die Orte der Vorgangsausführung (AP 7.2) sowie die Berücksichtigung von Verbrauchsressourcen (AP 7.3) und Pufferlagern (AP 7.4) erweitert.

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

GiS hat im Rahmen des AP 3 in enger Abstimmung mit dem KIT eine webbasierte Benutzeroberfläche entwickelt, die dem Anwender eine einfache, intuitive Interaktion mit der dahinterliegenden optimierenden Projektplanungsmethode ermöglicht. Als Grundlage hat die GiS eine Anwenderverwaltung implementiert, die den Zugriff auf die zu optimierenden Daten nur durch autorisierte Anwender ermöglicht. Zudem stellt das Planungswerkzeug eine Fehlerbehandlung zur Verfügung, welche Fehler bei der Eingabe der Planungsdaten verhindert und darüber hinaus in der Lage ist, Planungsfehler zu erkennen und dem Anwender aufzuzeigen. In Tests mit Praxisdaten konnten bereits Fehler in Planungsdaten detektiert werden.

Auf dieser Basis hat die GiS Methoden implementiert, die es erlauben, die zu optimierenden Planungsdaten aus den jeweiligen Quellsystemen (wie z.B. MS Project) mittels Schnittstellen („Adapter“) auszulesen und in eine für den Optimierungsalgorithmus verständliche Form zu transformieren. Diese transformierten Daten werden in einem speziellen Datenbank-System abgelegt und stellen die Basis für die Rechenläufe der optimierenden Projektplanungsmethode dar. Diese entwickelte Datenhaltung erlaubt aktuell mehrere Optimierungsläufe mit unterschiedlichen Parametern.

Zur Visualisierung der Ergebnisse stellt die GiS dem Anwender im Rahmen des Planungswerkzeugs eine grafische Oberfläche (GANTT-Diagramm) zur Verfügung, welche die optimierten Planungsergebnisse der ursprünglichen, manuell durchgeführten Planung (Basisplan) gegenüberstellt und dem Anwender somit den direkten visuellen Vergleich der beiden Planungen ermöglicht.

Zur Planung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen werden typischerweise bereits Projektplanungssysteme eingesetzt, deren Daten oder manuell erstellten Basispläne als Basis für eine Optimierung verwendet werden sollen/können und die jeweils typische, bei der Optimierung zu berücksichtigende, Eigenheiten besitzen. Im Rahmen des AP 4 hat die GiS zur Abbildung der Schnittstellen zu verschiedenen Projektplanungssystemen ein Adaptermodell entwickelt. Dieses Modell wurde durch Expertenbefragungen, u.a. in Zusammenarbeit mit der Multiprojektplanungsabteilung der EnBW Kernkraft GmbH (EnKK), abgesichert. Ein Adapter stellt hierbei die konkrete Schnittstelle zu einem bestimmten, bereits vorhandenen Planungssystem dar und erlaubt unter Berücksichtigung sämtlicher Eigenheiten des jeweiligen Planungssystems sowohl die Transformation der Planungsdaten in den

Optimierungsalgorithmus als auch die Rückübertragung der optimierten Planungsergebnisse ins Planungssystem. Damit wird das hier entwickelte Planungswerkzeug anschlussfähig an die bereits eingesetzte Software und Datenhaltungsprogramme.

Auf Basis dieses Modells hat die GiS bereits einen konkreten Schnittstellenadapter zum dem bei einem Energieunternehmen eingesetzten Projektplanungssystem implementiert, der es erlaubt, das Planungswerkzeug mit konkreten Daten zu testen und zu evaluieren. Weiterhin wurde ein „Standard“-Adapter zum Datenaustausch mit der gängigen, nicht-optimierenden Projektplanungssoftware MS-Project implementiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 3 und AP 4 werden von KIT und GiS wie im Antrag vorgesehen weiterbearbeitet.

In AP 3 wird die bereits implementierte Benutzeroberfläche von den Projektpartnern in Zusammenarbeit mit potenziellen Anwendern umfangreich getestet. Die Tests werden entsprechend dokumentiert. Für die Automatisierung von Test werden Testframeworks evaluiert und prototypisch eingesetzt. Es werden weitere Expertengespräche durchgeführt; gemeinsam wird erörtert, inwiefern weitere Funktionalitäten in den entstehenden Prototypen integriert werden und dieser so weiter verbessert werden kann.

In AP 4 werden insbesondere weitere Adapter implementiert (z.B. zu Oracle Primavera). Zudem liegt der Schwerpunkt auf der Konzeption der Anbindung von Softwareprodukten zur Überwachung und Dokumentation von Stoff- und Massenströmen (z.B. der Reststoffverfolgung).

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

Berichtszeitraum: 01.01.2020 bis 30.06.2020		Förderkennzeichen: 15S9419	
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fachhochschule Südwestfalen			
Vorhabenbezeichnung: KernTrafo - Transformationskonzept für Personal von Kernkraftwerken im Rückbau			
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2020 bis 28.02.2023		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.535.406,00 €	
Projektleiter: Prof. Dr. Ralf Lanwehr		E-Mail-Adresse des Projektleiters: lanwehr.ralf@fh-swf.de	

1. Zielsetzung des Vorhabens

KernTrafo konzentriert sich auf drei Kern-Herausforderungen des Rückbaus von Kernkraftwerken: die geringe Motivation der Mitarbeiter:innen, grundlegende Veränderungen der Anforderungen und ein gleichbleibender Personalstamm. KernTrafo adressiert diese Themen in der Projektkomponente 1 (PK1) durch einen innovativen Abgleich der vorhandenen Fähigkeiten der Mitarbeiter:innen mit neu auftretenden Anforderungen, in PK2 durch Führungskräfteentwicklung zur Bewältigung der Demotivation und in PK3 durch eine die Belegschaft einbindende Neuzusammenstellung von Aufgaben in den verschiedenen Phasen des Rückbaus. In PK1 wird Machine Learning verwendet, um Kompetenzcluster aus unstrukturierten Daten (interne Datenbanken) zu identifizieren, die beschreiben, welche Kompetenzen derzeit im Demontageprozess notwendig sind. So kann in verschiedenen Projektphasen festgestellt werden, welche Kompetenzen entscheidend zum Rückbau beitragen und gegebenenfalls erweitert werden müssen. In PK2 werden Führungskräfte in einem innovativen Führungsstil geschult – Paradoxe Führung. Der Kern paradoxer Führung ist der Umgang mit Spannungen zwischen gegensätzlichen, aber ebenso erstrebenswerten Zielen wie Innovation versus Effizienz. Im Mittelpunkt steht dabei der sinnvolle Umgang mit Spannungen: Der Rückbau von Kernkraftwerken erfordert die Erkundung neuer Welten, ohne sicherheitsrelevante Aspekte der alten zu vernachlässigen. In PK3 werden Mitarbeiter:innen und Führungskräfte in Job Crafting trainiert. Die Mitarbeiter:innen re-designen ihre Arbeit, um die Anpassung an ihre Bedürfnisse, Präferenzen und Fähigkeiten zu erhöhen. Dieser mitarbeitergetriebene Veränderungsansatz erhöht die Veränderungsbereitschaft und die Motivation für den Rückbau der Kernkraftwerke. Der Einsatz dieser innovativen und dynamischen Personalführungsinstrumente wird erprobt und die Anwendbarkeit für den besonderen Kontext des sicherheitssensiblen, neuartigen und sich ändernden Rückbaus von Kernkraftwerken getestet.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

PK1 besteht aus drei Hauptphasen:

1. Erzeugung einer nutzbaren Datenbasis
2. Entwicklung eines Algorithmus, der sinnvolle und abbaurelevante Kompetenzcluster identifiziert
3. Überführung des Algorithmus in einen Prototyp

PK2 besteht aus drei Hauptphasen:

1. Evaluation der aktuellen Führungskultur und Leistungsbereitschaft Organisation
2. Entwicklung und Pilotierung eines Trainingskonzeptes für paradoxe Führung und Schulung der Führungskräfte in paradoxer Führung
3. Evaluation der Trainingsergebnisse und Vergleich zum in Phase 1 erhobenen Status Quo

PK3 besteht aus drei Hauptphasen:

1. Evaluation von Work Engagement, Stress sowie Arbeitszufriedenheit
2. Entwicklung und Durchführung eines Job Crafting-Konzepts für Mitarbeiter:innen
3. Evaluation der Trainingsergebnisse sowie Vergleich des aktuellen Work Engagements, Stresses und Arbeitszufriedenheit mit dem erhobenen Status Quo aus Phase 1

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Meilensteinplanung: Administration

Die enge Zusammenarbeit mit dem Projektpartner ist für den Erfolg von KernTrafo entscheidend. Leider wurde diese Zusammenarbeit durch die Corona-Krise erheblich erschwert. Dies wirkt sich sowohl auf die Meilensteinplanung als auch auf die Projektkomponenten aus und führte dazu, ein weiteres Unternehmen, RWE Nuclear, als Projektpartner aufzunehmen.

- Am 17. März 2020 wurde das Projekt im Rahmen einer Kick-off-Veranstaltung bei Vattenfall vorgestellt. Direkt im Anschluss an diesen Termin kam es zu dem coronabedingten Lockdown, in dessen Zusammenhang Vattenfall unter anderem sämtliche Trainings eingestellt hat. Davon waren auch PK2 und PK3 betroffen. Trotz der Hindernisse fanden wöchentliche Abstimmungskonferenzen (Remote) mit der Projektleitung der Vattenfall-Seite statt. In diesem Rahmen wurde entschieden, zunächst nur PK1 durchzuführen. Dafür wurde gemeinsam ein umfassendes Datenschutzkonzept und eine Geheimhaltungsvereinbarung ausgearbeitet. Die PK1 ist aktuell in Arbeit.
- Da nach wie vor nicht sicher ist, inwieweit PK2 und PK3 bei Vattenfall durchgeführt werden können, wurde das Gesamtprojekt am 24. Juni 2020 zusätzlich bei RWE Nuclear vorgestellt. Die Geschäftsleitung, sowie weitere für den Rückbau verantwortliche Mitarbeiter:innen haben der Durchführung aller drei Projektkomponenten bei RWE Nuclear zugestimmt und diese Zusammenarbeit am 03.08.2020 verbindlich beschlossen. Derzeit werden die nötigen Vereinbarungen erstellt und es findet die Planung der Projektdurchführung statt. Ab sofort finden auch mit diesem Partner regelmäßige Austauschtermine zum Projekt-Setup und zur Beantwortung offener Fragestellungen statt.
- Die Meilensteinplanung wird aufgrund der coronabedingten Veränderungen demnächst überarbeitet.

Komponente 1: KI-basierte Kompetenzmodellierung

Der Meilenstein „Anforderungen spezifizieren“ wurde erfolgreich bearbeitet. Dafür wurde eine Liste an Anforderungen erstellt, welche die benötigten Daten für eine erfolgreiche Durchführung beinhaltet.

- Bei Vattenfall wurde der Zugang zu den Daten durch die Bereitstellung eines sicheren Cloud-Speichers der FH Südwestfalen gelöst. Das Vattenfall Team hat relevante Daten übermittelt, die derzeit ausgewertet werden.
- RWE Nuclear wird das Datenschutzkonzept und die Geheimhaltungsvereinbarung selbst bereitstellen. Die Datenspeicherung erfolgt voraussichtlich auf einem eigens gehosteten Server an der FH Südwestfalen in Meschede. Im nächsten Schritt der Komponente erfolgt in Abstimmung mit RWE Nuclear eine Detail-Anpassung der Zielstellung der Projektkomponente.

Zusätzlich wird derzeit übergreifend an einer ersten Datenerhebung anhand frei zugänglicher Arbeitsplatzbeschreibungen und Anforderungsprofilen aus dem Internet gearbeitet. Dazu wurden Web-Crawler entwickelt, die nun durchgehend bekannte Plattformen für Job-Angebote durchsuchen und die Job-Profile abspeichern.

Komponente 2: Paradoxe Führungsstile

Die Projektkomponente „Paradoxe Führungsstile“ war ganz besonders von den coronabedingten Einschränkungen betroffen.

- Wie oben beschrieben, wurde bei dem Projektpartner Vattenfall jegliches Führungskräfte-Training durch externe Partner eingestellt. Dementsprechend kann PK2 bei Vattenfall Nuclear aktuell nicht durchgeführt werden und auch die Meilensteinplanung in PK2 konnte nicht eingehalten werden.
- Da die Entscheidung zur Zusammenarbeit mit RWE Nuclear erst am 03.08.2020 gefallen ist, konnte auch hier die PK2 noch nicht durchgeführt werden. Es wurden jedoch die Grundlagen geschaffen, um in Anbetracht der aktuellen Herausforderungen (s. Punkt 7: Aufgetretene Probleme oder Schwierigkeiten) mit der Durchführung bei RWE Nuclear schnellstmöglich beginnen zu können.
- Zusätzlich wurden integrierte Trainings-Konzepte entwickelt, die es ermöglichen, kombiniert mit Präsenz- und Remote-Trainingsformaten zu arbeiten, um im Falle eines neuen Lockdowns jederzeit flexibel reagieren zu können.

Komponente 3: Job Crafting

Da der Beginn der Komponente Job Crafting laut Meilensteinplanung erst im September liegt, steht der Start erst an. In der Zusammenarbeit mit RWE Nuclear ist geplant, sofort eine Job-Crafting Analyse durchzuführen, und dann zeitversetzt zu PK2 zu starten. Es wurde eine umfassende Literaturrecherche zum Thema Job Crafting Interventionen durchgeführt (siehe Punkt 6), um den aktuellen Stand der Forschung mit in die Planung einbeziehen zu können.

4. Geplante Weiterarbeit

- Es ist noch nicht absehbar, ob PK2 und PK3 aufgrund der von Vattenfall getroffenen Entscheidungen im Zuge der Corona-Krise durchgeführt werden können. Die Zusammenarbeit wird daher vorerst auf PK1 beschränkt.
- Die Zusammenarbeit mit RWE Nuclear wurde am 3. August 2020 beschlossen. Dort wird das Projekt verzögert aber mit allen Komponenten starten. Das nächste Treffen mit RWE Nuclear findet am 13. August 2020 statt.

Weitere Aktivitäten

Die Ausarbeitung eines Gamification-Ansatzes zur Vermittlung der Projektinhalte ist seiner Planung bereits weit voraus. Die Ergänzung des Projekts durch den Gamification-Ansatz wurde im letzten Antrag genehmigt. Das Thema wird in einer Serie von Design-Thinking-Workshops entwickelt, von denen der erste Workshop bereits durchgeführt wurde. Weiter muss das methodenübergreifende Trainingskonzept für paradoxe Führung und Job Crafting mit den Bedürfnissen des Projektpartners harmonisiert werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Da es projektrelevante Synergien zu anderen teaminternen Vorhaben gibt, wurden die Data Scientists zu Beginn an Datensets der Teamprojekte trainiert, um so potenzielle Algorithmen zur Anwendung im Projekt zu identifizieren. Das Training beinhaltete u.a. das Sammeln und Analysieren von Daten mit dem Fokus der Identifikation von Biases in Datensets, da wir in der PK1 davon ausgehen, dass in den Daten der Kraftwerke eine Geschlechterungleichheit herrscht. Populäre Machine Learning Modelle neigen bei geschlechterrelevanten bzw. generell in unausgeglichenen Klassifikationen dazu, instabil zu agieren. Dies ist insb. bei technischen Berufen mit einem hohen Anteil an männlichen Mitarbeitern kritisch.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Ein Artikel zum Thema „Öffnende und schließende Mechanismen in der Arbeit von Netzwerkorganisationen“ steht kurz vor der Fertigstellung und wird in Kürze bei der Zeitschrift für angewandte Organisationspsychologie eingereicht. Paradoxe Führungsstile spielen in dem Artikel eine wichtige Rolle. Ein Structured Literature Review zum Thema *Paradoxe Führung* befindet sich in der Phase der Konzepterstellung. Ab Ende August wird anhand vorgegebener Suchbegriffe nach relevanten Artikeln recherchiert. Darüber hinaus wurden Fachvorträge zu den Themen *Ambidextrie* und *paradoxe Führung* gehalten. Als inhaltliche Vorbereitung für die PK3 wurde eine strukturierte Literaturrecherche zu *Job Crafting Interventionen* durchgeführt, um einen umfassenden Überblick über das neue Forschungsfeld der *Job Crafting Interventionen* zu erhalten. Bisherige strukturierte Literaturanalysen mit Fokus auf Ergebnisse zeigen, dass *Job Crafting Interventionen* das Potenzial haben, Job Crafting Verhalten, Arbeitsengagement und Leistung steigern zu können. In dieser strukturierten Literaturanalyse werden Interventionen auf verschiedene Instrumente zur Schulung des Job Crafting-Verhaltens analysiert und vorgestellt. Die Arbeit bietet eine wissenschaftlich fundierte Orientierung für das Projekt und die inhaltliche Trainings-Konzeption von PK3. Der Artikel kann bei Interesse angefragt werden.

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

Schwertnergasse 1
50667 Köln

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Forschungszentrum
85748 Garching b. München

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200
10719 Berlin

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4
38122 Braunschweig

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

www.grs.de