

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
01. Januar - 30. Juni 2021

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 2021

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	
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.	7
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.	10
15S9424	Produktives Seilschleifen von Stahl durch modellbasierte Prozessauslegung	13
15S9429A	Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil) – Teilprojekt: Simulationsbasierte Werkzeugauslegung und Untersuchung des Einsatzverhaltens	15
15S9429B	Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie - Teilprojekt: Bindungs- und fertigungsspezifische Seilschleifwerkzeugentwicklung	18
15S9429C	Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil) - Teilprojekt: Einfluss der Verwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung auf die im industriellen Rückbau verwendete Maschinentechologie	20
15S9429D	Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifwerkzeuge mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil).- Teilprojekt: Anwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung im industriellen Rückbau.	22
15S9429E	Verbundvorhaben: „Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil).“ Teilprojekt: "Auslegung und Herstellung neuartiger Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schneidstoffanordnung."	24
15S9430A	Verbundvorhaben: Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogentrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teil: CAMG-Prozess	26
15S9430B	Verbundvorhaben: Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogentrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teil: CAMG-Anwendung	29
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	32
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	35
15S9412	Wege zum effizienten Rückbau von Reaktorkomponenten und Betonabschirmung: Berechnung des Aktivitätsinventars und deren Validierung an Bohrkernen sowie Mobilitätsuntersuchungen von Radionukliden	38
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	41

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
15S9413B	Verbundvorhaben: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung von radioaktiv kontaminierten Zementstein mittels elektrohydraulischer Fragmentierung	44
15S9416A	Verbundvorhaben: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Durchführung experimentelle Versuche und Auswertung an Versuchsmuster	46
15S9416B	Verbundvorhaben: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster	49
15S9416C	Verbundvorhaben: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Detaillierung und Ausgestaltung der Versuchsmuster samt Einhausung mit Absaugung	52
15S9416D	Verbundvorhaben: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Praxisversuche und Verifizierung	54
15S9418A	Verbundvorhaben: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau (LaDeco) – Teilprojekt: Ermittlung von Sekundäremissionen bei der laserbasierten Dekontamination und Praxiserprobung	57
15S9418B	Verbundvorhaben: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau (LaDeco) - Teilprojekt: Untersuchungen zur thermischen Zersetzung, zum Partikeltransport und zur Lackdetektion auf Betonoberflächen	60
15S9421A	Verbundvorhaben: Robotergestützte Bearbeitung von Baugruppen beim Rückbau von Kernkraftwerken - Teilprojekt: Verfahrenstechnik und Engineering	62
15S9421B	Verbundvorhaben: Robotergestützte Bearbeitung von Baugruppen beim Rückbau von Kraftwerken; Teilprojekt: Autonome Digitalisierung und Entschichtung von Baugruppen	65
15S9425A	Verbundvorhaben: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung Teilprojekt: Parametervalidierung zum Tiefschnitt von hochbewehrtem Stahlbeton und Erprobung eines neuartigen Anbaugeräts zur Rissüberfräsung kontaminierter Wandstrukturen	69
15S9425B	Verbundvorhaben: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung Teilprojekt: „Konzeptionierung eines hochflexiblen Anbaugerätes als Prüfstand zur experimentellen Untersuchung für die Rissüberfräsung kontaminierter Wandstrukturen sowie Neukonzeptionierung eines Absaugsystems für den Materialabtransport	72
15S9425C	Verbundvorhaben: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung Teilprojekt: Fachkundige Planungs- und Projektberatung zu den Anforderungen an ein mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung und deren Umsetzung sowie Vernetzung mit Experten aus dem Bereich der Kerntechnik	76
15S9431A	Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie - TEILPROJEKT: Gerätebau und -entwicklung	79
15S9431B	Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, Teilprojekt Bildrekonstruktionsverfahren	81
15S9431C	Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, Richtungs aufgelöster In-Situ-Gammaspektrometrie (QGRIS) TEILPROJEKT: Experimentelle Untersuchungen und Simulation	83
15S9431D	Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie Teilprojekt: Qualifizierung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen	85

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
03.	Abfallbehandlung, Abfalldeklaration, Zwischenlagerung	
15S9406A	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Entwicklung und Bau der Messanlage	87
15S9406B	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Methoden- und Softwareentwicklung	90
15S9406C	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Online-Messungen des Neutronenflusses	94
15S9407A	Verbundprojekt: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit - Teilprojekt: Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Konditionierungsverfahren mit Nuklidseparation zur Volumenreduktion	97
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	100
15S9410A	Verbundvorhaben: Charakterisierung und Quantifizierung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie - Teilprojekt: Optimierung der Entscheidungsmessung und Freigabemengen	103
15S9410B	Verbundvorhaben: 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	107
15S9411	Verbesserung der quantitativen Datenauswertung für die zerstörungsfreie Charakterisierung radioaktiver Behälter und Objekte	110
15S9420	Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebäude (EMOS)	113
15S9422A	Verbundprojekt: Virtual REMote RObotics for Radiometric Sorting, Teilprojekt: Intuitive VR/AV Multi- Robotersteuerung für ein anwendungsnahes Rückbauszenario	117
15S9422B	Verbundprojekt: Virtual REMote RObotics for Radiometric Sorting (VIRERO) Teilprojekt: Ortsaufgelöste radiologische Charakterisierung zur Sortierung	120
15S9422C	Verbundprojekt: Virtual REMote RObotics for Radiometric Sorting (VIRERO) Teilprojekt: Immersives, lernfähiges Teleoperationssystem und autonome Roboterfähigkeiten	124
15S9423A	Verbundprojekt: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Durchführung der Versuche mit inaktivem Probenmaterial	128
15S9423B	Verbundprojekt: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilprojekt: Durchführung von Versuchen mit radioaktivem Probenmaterial	130
15S9428A	Verbundprojekt: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) - Teilprojekt: Projektkoordination sowie ökologische und radiologische Bewertungen	132
15S9428B	Verbundvorhaben: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) - Teilprojekt: Entwicklung von Recyclingstrategien und Identifizierung von ökonomischen Verwertungswegen	135
15S9428C	Verbundvorhaben: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) - Teilprojekt: Identifikation und Bereitstellung von Komponenten zur Untersuchung sowie Integration relevanter Ergebnisse zur Berücksichtigung im Rückbau	138
15S9428D	Verbundprojekt: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RetecKA) – Teilprojekt: Ermittlung des intrinsischen Materialwerte	141

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
04.	Umwelt- und Strahlenschutz	
15S9417	Umsetzung von Schwermetall-Landfarming zur nachhaltigen Landschaftsgestaltung und Gewinnung erneuerbarer Energien auf radionuklidbelasteten Flächen: Optimierungsstrategien (USER-II)	144
05.	Mensch und Organisation	
15S9414A	Verbundvorhaben: Entwicklung eines benutzerfreundlichen kostenoptimierenden Planungswerkzeugs für kerntechnische Rückbauprojekte unter der Berücksichtigung von Stoffströmen zur Ressourcenplanung (NukPlaRStoR) - Teilprojekt: Methodische Konzeptionierung	147
15S9414B	Verbundvorhaben: Entwicklung eines benutzerfreundlichen kostenoptimierenden Planungswerkzeugs für kerntechnische Rückbauprojekte unter der Berücksichtigung von Stoffströmen zur Ressourcenplanung (NukPlaRStoR) Teilprojekt: Benutzeroberfläche und Schnittstellen	150
15S9419	Transformationskonzept für Personal von Kernkraftwerken im Rückbau (KernTrafo)	153
15S9426A	Verbundprojekt: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken (Kurztitel „Rückbaukompetenzen“)	157
15S9426B	Verbundprojekt: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken (Kurztitel „Rückbaukompetenzen“)	160

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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)

AP4: Experimentelle Versuchsreihe

Nach der Aussteifung des Versuchstandes und der Anbringung des neuen 6-Achsen Kraft Moment-Sensors unter dem Motorblock zur Ansteuerung der Trennwerkzeuge konnte die 1. Testreihe mit handelsüblichen Trennwerkzeugen fortgesetzt werden. Abbildung 1 zeigt den Versuchstand zur Rohrintrennung am TMB.



Abb. 1: Versuchstand RoTre

Untersucht wurden bisher verschiedene Ausführungen von Sägeblättern (HSS, VHM, beschichtet/ unbeschichtet), Scheibenfräsern und Schleifscheiben. Für Sägeblätter und Scheibenfräser kann aufgrund ähnlicher Drehzahlen derselbe Motor zum Antrieb verwendet werden.

Bei den Versuchen mit Sägeblättern und Scheibenfräsern wurden die Drehzahlen im Bereich von 50 - 350 U/min und die Vorschubgeschwindigkeit von 10 – 50 Hz variiert. Während den einzelnen Versuchen wurden die Kräfte und Momente in alle drei Achsen aufgenommen, der Verschleiß der Trennwerkzeuge mittels einer USB-Kamera dokumentiert und die Wärmeentwicklung am Rohr bzw. am Motor mittels einer Wärmebildkamera untersucht. Die bisherigen Versuche mittels Sägeblättern und Scheibenfräsern haben gezeigt, dass die Rohrtrennung freiliegender Edelstahlrohre mit diesen Trennwerkzeugen prinzipiell möglich ist.

Nach Beendigung der Vorversuche mittels Sägeblättern und Schleifscheiben wurde der Versuchstand umgebaut und erste Versuchsreihen mit Schleifscheiben durchgeführt. Der Umbau für Schleifscheiben ist notwendig, da aufgrund des deutlichen höheren Drehzahlbereichs von Schleifscheiben ein anderer Motor verwendet werden muss. Die ersten Versuchsreihen mit Schleifscheiben sahen sehr erfolgreich aus. Die Kräfte während der Rohrtrennung waren deutlich niedriger als mit Schleifscheiben und Sägeblättern und es konnte ein klarer Schnitt (inkl. Schweißnaht) erzeugt werden.

Parallel zu den durchgeführten Versuchsreihen wurden die theoretischen Schnittkräfte am Schneidkopf berechnet und mit den aufgenommenen Daten des 6-Achsen Kraft-Momentsensors, zu sehen in Abbildung 2, verglichen. Auf diese Art sollte sichergestellt werden, dass die Daten während den Testreihen richtig aufgezeichnet werden und die Kalibrierung des Sensors stimmt.



Abb. 2: 6-Achsen Kraft-Momentsensor¹

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP4: Experimentelle Versuchsreihe (1. Versuchsreihe)

Die experimentellen Versuchsreihen werden in den nächsten Projektmonaten fortgesetzt. Es werden weitere Ausführungen von Trennwerkzeugen, Rohren (nahtlos/geschweißt) sowie einbetonierte Probekörper untersucht. Zudem werden die einzelnen Schnitte mit einem Profilsensors aufgenommen und die Schnitte der einzelnen Trennwerkzeuge analysiert. Ziel ist es, durch weitere Versuchsreihen das am besten geeignete Trennwerkzeug zur Rohrtrennung zu identifizieren.

AP6: Praktische Testreihe (2. Versuchsreihe)

Nach Fertigstellung des Demonstrator-Systems von NIS wird dieser am Versuchstand angebracht und dessen Funktionalität überprüft. Hierzu muss der Versuchstand umgebaut und eine Befestigung für den Demonstrator konstruiert und hergestellt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Auf der KONTEC, die dieses Jahr vom 25.08-27.08.2021 in Dresden stattfindet, wird ein Kurzvortrag zur Entwicklung des Rohrrinntrenners gehalten und ein dazugehöriges Paper veröffentlicht. Zudem wird auf der DEM vom 13.09. - 15.09.2021 in Avignon ein Poster zu RoTre vorgestellt sowie ein Full-Paper publiziert.

¹ ME Messtechnik (Jahr unbekannt): „K6D110“, Online unter: <https://www.me-systeme.de/shop/de/sensoren/kraftsensoren/k6d/k6d1108>, abgerufen am 29.06.2021.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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)

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

Das AP3 wurde von NIS abgeschlossen. Die Funktionen des Spülens/ Absaugung wurden in der Konstruktion berücksichtigt. Die Funktion des Abscherens wird zu einem späteren Zeitpunkt betrachtet.

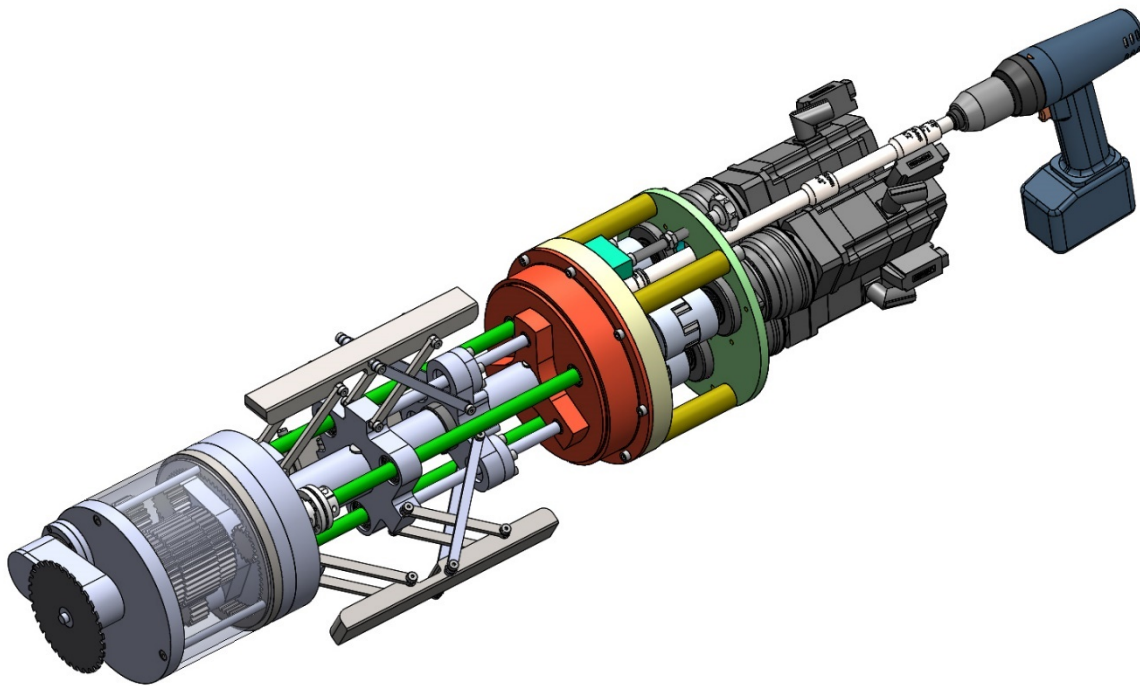


Abbildung 1: Konstruktion des Prototyps

AP4: Experimentelle Versuchsreihe/

AP5: Entwicklung, Konstruktion und Herstellung eines Trägersystems mit Zustelleinheit sowie des Antriebssystems und Transportmittel der Leitungen

Auf Grundlage der bisherigen Versuchsergebnisse des KIT zur Wahl eines Schneidwerkzeugs wurde parallel die Konstruktion des Prototyps angepasst. Der Prototyp wurde für das Fräswerkzeug ausgelegt und konstruiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

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

Die experimentellen Versuchsreihen werden in den nächsten Projektmonaten fortgesetzt. Es werden weitere Ausführungen von Trennwerkzeugen untersucht. Ggf. ist der Demonstrator konstruktiv auf Grundlage der Versuchsergebnisse konstruktiv anzupassen.

AP5: Entwicklung, Konstruktion und Herstellung eines Trägersystems mit Zustelleinheit sowie des Antriebssystems und Transportmittel der Leitungen

Sobald die Mittelfreigabe erfolgt ist und alle Versuchsergebnisse vorliegen, werden die Norm- / Fertigungsteile des Prototyps bestellt und der Prototyp zusammengebaut.

Nach erfolgreicher praktischer Testreihe (AP 6) werden die noch ausstehenden Funktionen zum Abtransport der Leitung diskutiert und ggf. konstruiert. Ziel ist außerdem die Optimierung und Validierung des entwickelten Teilsystems.

AP6: Praktische Testreihe (2. Versuchsreihe)

Nach Fertigstellung des Prototyps wird dieser am Versuchstand des KIT angebracht und dessen Funktionalität überprüft. Hierzu muss der bisherige Versuchstand umgebaut und eine Befestigung für den Demonstrator konstruiert und hergestellt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Auf der KONTEC, die dieses Jahr vom 25.08-27.08.2021 in Dresden stattfindet, wird ein Kurzvortrag zur Entwicklung des Rohrintrenners gehalten und ein dazugehöriges Paper veröffentlicht.

Zudem wird auf der DEM vom 13.09. - 15.09.2021 in Avignon ein Poster zu RoTre vorgestellt sowie ein Full-Paper publiziert.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9424
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover - Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)	
Vorhabenbezeichnung: Produktives Seilschleifen von Stahl durch modellbasierte Prozessauslegung (ProSeil)	
Laufzeit des Vorhabens: vom 01.10.2020 bis 30.09.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 490.926,41 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: denkena@ifw.uni-hannover.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel dieses Vorhabens ist die Verfügbarkeit einer Methode zur systematischen Auslegung des trockenen Seilschleifens metallischer Werkstoffe unter Berücksichtigung temperaturrelevanter Faktoren, die eine deutliche Steigerung der Standzeit von Seilschleifprozessen von mindestens 50 % gegenüber konventionell ausgelegten Prozessen ermöglicht. Da bei der Bearbeitung von Metall kein Selbstschärfeeffekt der eingesetzten Schleifperlen auftritt, werden beim Seilschleifen dieser Werkstoffe 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, was zum Erreichen der thermischen Stabilitätsgrenze der Gummierung von etwa 100 °C führt. Aus diesen Gründen werden die temperaturrelevanten Systemgrößen Werkzeugspezifikation, Kühlung und freie Seillänge variiert und ihr Einfluss auf die Wärmebilanz bestimmt. Das entstandene empirische Modell verwendet die temperaturrelevanten Eingangsgrößen Kühlleistung, freie Werkzeuglänge und Werkzeugspezifikation und wird durch experimentelle Untersuchungen validiert.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1 Erweiterung des Versuchsstandes

Erweiterung des bestehenden Versuchsstandes zur Durchführung der geplanten Untersuchungen.

AP 1.2 Thermodynamische Betrachtung

Quantifizierung der im Seilschleifen relevanten Wärmeströme.

AP 2 Einfluss der Werkzeugspezifikation

Kenntnis des Einflusses der Werkzeugspezifikation auf die Wärmebilanz.

AP 3 Einsatzuntersuchungen und Verschleiß

Untersuchung des Verschleißverhaltens der Werkzeuge.

AP 4 Modellbildung

Modellbildung aus den gewonnenen Erkenntnissen der vorherigen APs.

AP 5 Validierung und Leistungsuntersuchung

Validierung des Modells und Einordnung des Prozesses in den Stand der Technik.

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

AP 1.1: Ziel des ersten Arbeitspakets ist die Verfügbarkeit eines geeigneten Versuchsstands zur Durchführung der Laboruntersuchungen. Dafür wird neben der Erweiterung der am IFW vorhandenen, stationären Seilschleifmaschine auch ein bestehender Analogieprüfstand erweitert. Dieser wird auf einer konventionellen Flachsleifmaschine der Firma Geibel & Hotz montiert. Das Antriebsrad ist dabei auf der Spindelachse montiert. Durch zwei Umlenkrollen ist so über die Verfahrbewegungen der Schleifmaschine ein weggebundener Seilschleifprozess realisiert. Die Seilvorspannung wird durch einen Pneumatikzylinder aufgebracht. Die Vorspannung hat dabei einen signifikanten Einfluss auf die Werkzeugtemperatur im Leerlauf. Die Wärme entsteht durch innere Reibung aufgrund der Biegewechselbelastung des Seils und durch Reibung zwischen den Umlenkrollen und dem Seil. Diese wird durch die Vorspannung beeinflusst.

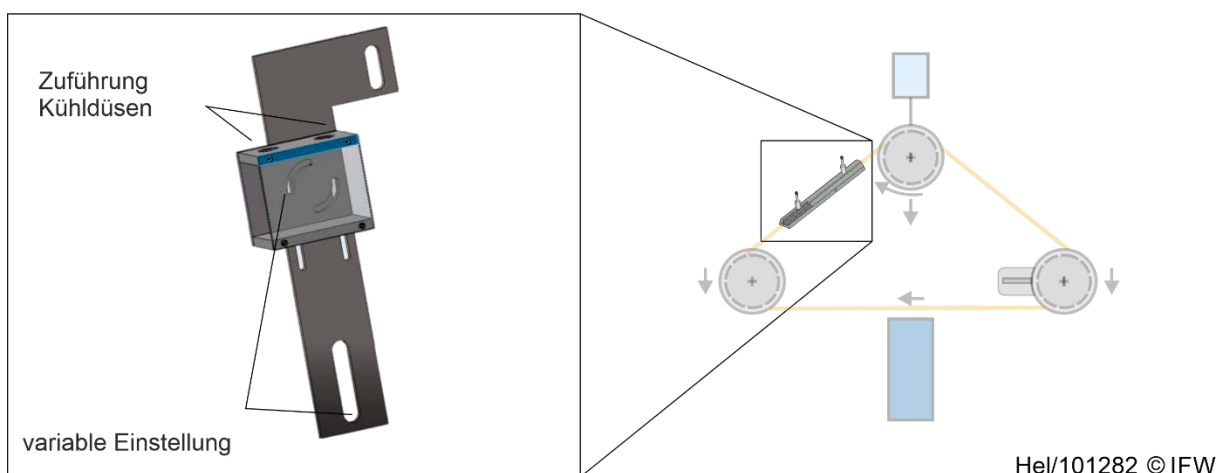


Abbildung 2: Kühleinheit zur einstellbaren Druckluftkühlung

Der Versuchsstand wurde um die in Abbildung 1 dargestellte Kühlvorrichtung erweitert. Diese ermöglicht es, zwei Vortex-Düsen parallel zur Druckluftkühlung einzusetzen. Darüber hinaus ist die Position der Kühleinheit gegenüber dem Seil variabel einstellbar.

AP 1.2.: Nach Fertigstellung des Versuchsstandes in Arbeitspaket 1.2 wurde bereits mit der Bearbeitung des Arbeitspakets 1.2 begonnen. Ziel ist es hier, relevante Einflussfaktoren auf die Werkzeugtemperatur zu identifizieren. Dafür wurde zunächst die Leerlauftemperatur bestimmt. Diese wird durch die Umfangsgeschwindigkeit, die Vorspannkraft und die Reibung an den Umlenkrollen beeinflusst. Es wurde nachgewiesen, dass die Seiltemperatur im Analogieprüfstand linear mit der Umfangsgeschwindigkeit ansteigt. Bei $v_c = 18 \text{ m/s}$ liegt die Werkzeugtemperatur bei 25 °C . Diese steigt auf ca. 29 °C bei einer Umfangsgeschwindigkeit von $v_c = 25 \text{ m/s}$.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1.2.: Die Analyse der Werkzeugtemperatur wird fortgeführt. Dafür wird die Vorspannkraft und die Seillänge variiert. Zudem werden die Versuche auf dem stationären Seilschleifprüfstand wiederholt. Die Ergebnisse werden dann in ein erstes Temperaturmodell überführt, um den Einfluss der Umgebungsbedingungen und Prozessgrößen auf die Werkzeugtemperatur zu beschreiben.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine.

Berichtszeitraum: 01.06.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9429A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (Sieb-Seil) – Teilprojekt: Simulationsbasierte Werkzeugauslegung und Untersuchung des Einsatzverhaltens	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 461.508,47 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: denkena@ifw.uni-hannover.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das übergeordnete Projektziel dieses Vorhabens ist die Verfügbarkeit neuartiger Seilschleifwerkzeuge, um die Produktivität des trockenen Seilschleifprozesses im kerntechnischen Rückbau deutlich zu steigern. Gleichzeitig soll die Erzeugung von radioaktiv kontaminierten Sekundärstoffen, wie Altwerkzeuge, durch eine erhöhte Standzeit der Werkzeuge verringert werden. Dies soll durch eine definierte Anordnung der Schneidpartikel erreicht werden. Eine deterministische Anordnung der Schleifkörner sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Prozesskräfte auf die verschiedenen Körner und damit für einen einheitlichen Verschleiß. Auf diese Weise kann eine Reduktion der Prozesskräfte erreicht und die Zeitspanfläche durch eine Erhöhung der Prozessstellgrößen erhöht werden. Die Herstellung von Schleifsegmenten mit definierter Kornanordnung erfolgt auf Grundlage einer vom IFAM Dresden und DIABÜ entwickelten Variante des Siebdruckverfahrens. Im Rahmen dieses Projektes werden außerdem neue Bindungswerkstoffe untersucht, mit dem Ziel mehrlagige und selbstschärfende Schleifsegmente im Siebdruckverfahren herzustellen. In diesem Zusammenhang werden auch die technischen Grundlagen für eine massentaugliche Fertigung geschaffen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

Entwicklung eines parametrischen Simulationsmodells des Seilschleifens für die Auslegung deterministischer Kornanordnungen. Parallel dazu werden geeignete Bindungswerkstoffe für die Herstellung mehrlagiger Schleifsegmente im Siebdruckverfahren identifiziert.

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

Untersuchung der fertigungstechnischen Realisierbarkeit verschiedener Schleifkornmuster und Herstellung von Prototypen mit ausgewählten Setzmustern.

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

Untersuchung der hergestellten Schleifperlen mittels einer Ritzscheibe und iterative Anpassung der Werkzeuge. Optimierung des Herstellprozesses und Entwicklung hybrider Schleifsegmente.

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

Ermittlung der Prozessgrenzen von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Kornanordnung anhand von kurzen Seilen auf einem Analogieprüfstand.

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

Untersuchung der Leistungsfähigkeit der neuen Seilschleifwerkzeuge an praxisnahen Probekörpern und auf einem Rückbauprojekt. Erarbeitung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schleifkornanordnung.

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

AP 1.1: Das Ziel dieses Arbeitspakets ist die Verfügbarkeit eines parametrischen Simulationsmodells zur Simulation des Seilschleifens mit Schleifsegmenten mit deterministischer Kornanordnung. Dafür wurde zunächst die Simulationssoftware IFW-CutS dahingehend erweitert, dass eine Schleifperle mit einer deterministischen Anordnung von Körnern erzeugt werden kann. Dabei wurde sichergestellt, dass die Setzmuster aufwandsarm variiert werden können. Die Schleifkörner werden stochastisch im nominalen Korngrößenbereich nach ISO 6106 in Bezug auf die Kornform und –größe erzeugt, wobei jeweils eine Normalverteilung angenommen wird. Anschließend werden Sie mit zufälliger Orientierung auf den Setzpositionen verteilt. Die Kornform wurde zunächst als ein Hexagon-Doppelpyramidenstumpf angenähert. Die Schleifkörner sind auf der Schleifperle in axialer Richtung in mehreren Reihen aufgereiht. Der Abstand und die Verdrehung dieser Reihen gegeneinander können variiert werden. Zusätzlich kann der Abstand der Körner innerhalb einer Reihe angepasst werden. Dies bestimmt die Kornkonzentration in der Schleifperle.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1.1: Das Simulationsmodell wird dahingehend erweitert, dass die für das Seilschleifen charakteristische Werkzeugabdrängung und die Nachgiebigkeit des Seilwerkzeugs berücksichtigt werden. Dafür müssen Algorithmen zur Berechnung der auftretenden Bearbeitungskräfte implementiert werden. Die Generierung der Setzmuster wird um weitere Faktoren erweitert, welche die Erzeugung mehrlagiger Muster in radialer Richtung ermöglichen. In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern DIABÜ und Cedima wird ein Anforderungskatalog für den industriellen Einsatz erarbeitet. Dieser definiert die Anforderungen der industriellen Praxis an das Simulationsmodell. Auf diese Weise wird die Anwendbarkeit der Simulation sicher- und der geforderte Funktionsumfang festgestellt.

AP 1.2: Nach Fertigstellung des Simulationsmodells werden Simulationsversuche durchgeführt, um den Einfluss des Setzmusters auf den Schleifprozess zu untersuchen. Dabei werden zusätzlich zu den Setzmustern auch die Vorschub- und die Schnittgeschwindigkeit variiert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.06.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9429B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) – Institutsteil Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil) – Teilprojekt: Bindungs- und fertigungsspezifische Seilschleifwerkzeugentwicklung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 464.794,30 €
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Thomas Weißgärber	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: thomas.weißgärber@ifam-dd.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das übergeordnete Projektziel dieses Vorhabens ist die Verfügbarkeit neuartiger Seilschleifwerkzeuge, um die Produktivität des trockenen Seilschleifprozesses im kerntechnischen Rückbau deutlich zu steigern. Gleichzeitig soll die Erzeugung von radioaktiv kontaminierten Sekundärstoffen, wie Altwerkzeuge, durch eine erhöhte Standzeit der Werkzeuge verringert werden. Dies soll durch eine definierte Anordnung der Schneidpartikel erreicht werden. Eine deterministische Anordnung der Schleifkörner sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Prozesskräfte auf die verschiedenen Körner und damit für einen einheitlichen Verschleiß. Auf diese Weise kann eine Reduktion der Prozesskräfte erreicht und die Zeitspanfläche durch eine Erhöhung der Prozessstellgrößen erhöht werden. Die Herstellung von Schleifsegmenten mit definierter Kornanordnung erfolgt auf Grundlage einer vom Fraunhofer IFAM Dresden und der DIABÜ GmbH entwickelten Variante eines Siebdruckverfahrens. Im Rahmen dieses Projektes werden außerdem neue Bindungswerkstoffe untersucht, mit dem Ziel mehrlagige und selbstschärfende Schleifsegmente im Siebdruckverfahren herzustellen. In diesem Zusammenhang werden auch die technischen Grundlagen für eine massentaugliche Fertigung geschaffen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

Entwicklung eines parametrischen Simulationsmodells des Seilschleifens für die Auslegung deterministischer Kornanordnungen. Parallel dazu werden geeignete Bindungswerkstoffe für die Herstellung mehrlagiger Schleifsegmente im Siebdruckverfahren identifiziert.

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

Untersuchung der fertigungstechnischen Realisierbarkeit verschiedener Schleifkornmuster und Herstellung von Prototypen mit ausgewählten Setzmustern.

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

Untersuchung der hergestellten Schleifperlen mittels einer Ritzscheibe und iterative Anpassung der Werkzeuge. Optimierung des Herstellprozesses und Entwicklung hybrider Schleifsegmente.

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

Ermittlung der Prozessgrenzen von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Kornanordnung anhand von kurzen Seilen auf einem Analogieprüfstand.

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

Untersuchung der Leistungsfähigkeit der neuen Seilschleifwerkzeuge an praxisnahen Probekörpern und auf einem Rückbauprojekt. Erarbeitung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schleifkornanordnung.

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

AP 1.3: Das Ziel dieses Arbeitspakets ist die Identifikation der für die additive Fertigung von trocken schneidenden Seilschleifsegmenten geeigneten Bindungswerkstoffe sowie das Bereitstellen von fertigungsspezifischen Prozessgrenzen für die simulative Auslegung der Schleifsegmente bereitzustellen. Hierfür wurde mit der Analyse zur Zusammensetzung von metallischen Bindungswerkstoffen begonnen und auf Basis erster Anhaltspunkte die Verfügbarkeit der Materialien in die Arbeiten eingebunden. Aktuell ist je nach Werkstoff hierbei mit längeren Lieferzeiten für Materialien zu rechnen. Die ermittelten Materialkosten werden später als Grundlage für eine wirtschaftliche Bewertung dienen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1.3: Auf Basis der ersten Erkenntnisse und Bewertungen werden in Absprache mit den Projektpartnern benötigte Materialien beschafft. Parallel wird mit der Entwicklung eines Druckwerkzeuglayout zur Parameter- und Geometriebewertung begonnen, welches zur Evaluierung benötigter Vorgabeparameter für die Schleifwerkzeugsimulation dienen soll.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.06.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9429C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CEDIMA Diamantwerkzeug und Maschinenbaugesellschaft mbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (Sieb-Seil) - Teilprojekt: Einfluss der Verwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung auf die im industriellen Rückbau verwendete Maschinentechologie	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 56.618,71 €
Projektleiter/-in: Mirko Kniese	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: mirko.kniese@cedima.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das übergeordnete Projektziel dieses Vorhabens ist die Verfügbarkeit neuartiger Seilschleifwerkzeuge, um die Produktivität des trockenen Seilschleifprozesses im kerntechnischen Rückbau deutlich zu steigern. Gleichzeitig soll die Erzeugung von radioaktiv kontaminierten Sekundärstoffen, wie Altwerkzeuge, durch eine erhöhte Standzeit der Werkzeuge verringert werden. Dies soll durch eine definierte Anordnung der Schneidpartikel erreicht werden. Eine deterministische Anordnung der Schleifkörner sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Prozesskräfte auf die verschiedenen Körner und damit für einen einheitlichen Verschleiß. Auf diese Weise kann eine Reduktion der Prozesskräfte erreicht und die Zeitspanfläche durch eine Erhöhung der Prozessstellgrößen erhöht werden. Die Herstellung von Schleifsegmenten mit definierter Kornanordnung erfolgt auf Grundlage einer vom IFAM Dresden und DIABÜ entwickelten Variante des Siebdruckverfahrens. Im Rahmen dieses Projektes werden außerdem neue Bindungswerkstoffe untersucht, mit dem Ziel mehrlagige und selbstschärfende Schleifsegmente im Siebdruckverfahren herzustellen. In diesem Zusammenhang werden auch die technischen Grundlagen für eine massentaugliche Fertigung geschaffen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

Entwicklung eines parametrischen Simulationsmodells des Seilschleifens für die Auslegung deterministischer Kornanordnungen. Parallel dazu werden geeignete Bindungswerkstoffe für die Herstellung mehrlagiger Schleifsegmente im Siebdruckverfahren identifiziert.

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

Untersuchung der fertigungstechnischen Realisierbarkeit verschiedener Schleifkornmuster und Herstellung von Prototypen mit ausgewählten Setzmustern.

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

Untersuchung der hergestellten Schleifperlen mittels einer Ritzscheibe und iterative Anpassung der Werkzeuge. Optimierung des Herstellprozesses und Entwicklung hybrider Schleifsegmente.

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

Ermittlung der Prozessgrenzen von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Kornanordnung anhand von kurzen Seilen auf einem Analogieprüfstand.

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

Untersuchung der Leistungsfähigkeit der neuen Seilschleifwerkzeuge an praxisnahen Probekörpern und auf einem Rückbauprojekt. Erarbeitung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schleifkornanordnung.

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

AP1: Das Ziel dieses Arbeitspakets ist die Verfügbarkeit eines parametrischen Simulationsmodells zur Simulation des Seilschleifens mit Schleifsegmenten mit deterministischer Kornanordnung sowie die Identifikation geeigneter Bindungswerkstoffe, welche im Siebdruckverfahren nutzbar sind und die Leistungsfähigkeit der Schleifsegmente, durch z. B. eine Selbstschärfung, erhöhen. Dafür wurden zunächst Anforderungen an das Simulationsmodell zum Seilschleifen mit deterministischen Kornanordnungen aus Sicht eines Maschinenherstellers zusammengetragen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP1: Im nächsten Schritt werden die industriellen Anforderungen an das Simulationsmodell mit den Projektpartnern diskutiert und ein Lastenheft für die Simulation erstellt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.06.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9429D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CCD Diamanttechnik	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifwerkzeuge mittels additiver Siebdrucktechnologie (Sieb-Seil) - Teilprojekt: Anwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung im industriellen Rückbau.	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 51.151.28 €
Projektleiter/-in: Uwe Gerecke	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: ug@ccd-diamanttechnik.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das übergeordnete Projektziel dieses Vorhabens ist die Verfügbarkeit neuartiger Seilschleifwerkzeuge, um die Produktivität des trockenen Seilschleifprozesses im kerntechnischen Rückbau deutlich zu steigern. Gleichzeitig soll die Erzeugung von radioaktiv kontaminierten Sekundärstoffen, wie Altwerkzeuge, durch eine erhöhte Standzeit der Werkzeuge verringert werden. Dies soll durch eine definierte Anordnung der Schneidpartikel erreicht werden. Eine deterministische Anordnung der Schleifkörner sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Prozesskräfte auf die verschiedenen Körner und damit für einen einheitlichen Verschleiß. Auf diese Weise kann eine Reduktion der Prozesskräfte erreicht und die Zeitspanfläche durch eine Erhöhung der Prozessstellgrößen erhöht werden. Die Herstellung von Schleifsegmenten mit definierter Kornanordnung erfolgt auf Grundlage einer vom IFAM Dresden und DIABÜ entwickelten Variante des Siebdruckverfahrens. Im Rahmen dieses Projektes werden außerdem neue Bindungswerkstoffe untersucht, mit dem Ziel mehrlagige und selbstschärfende Schleifsegmente im Siebdruckverfahren herzustellen. In diesem Zusammenhang werden auch die technischen Grundlagen für eine massentaugliche Fertigung geschaffen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

Entwicklung eines parametrischen Simulationsmodells des Seilschleifens für die Auslegung deterministischer Kornanordnungen. Parallel dazu werden geeignete Bindungswerkstoffe für die Herstellung mehrlagiger Schleifsegmente im Siebdruckverfahren identifiziert.

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

Untersuchung der fertigungstechnischen Realisierbarkeit verschiedener Schleifkornmuster und Herstellung von Prototypen mit ausgewählten Setzmustern.

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

Untersuchung der hergestellten Schleifperlen mittels einer Ritzscheibe und iterative Anpassung der Werkzeuge. Optimierung des Herstellprozesses und Entwicklung hybrider Schleifsegmente.

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

Ermittlung der Prozessgrenzen von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Kornanordnung anhand von kurzen Seilen auf einem Analogieprüfstand.

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

Untersuchung der Leistungsfähigkeit der neuen Seilschleifwerkzeuge an praxisnahen Probekörpern und auf einem Rückbauprojekt. Erarbeitung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schleifkornanordnung.

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

AP1: Das Ziel dieses Arbeitspakets ist die Verfügbarkeit eines parametrischen Simulationsmodells zur Simulation des Seilschleifens mit Schleifsegmenten mit deterministischer Kornanordnung sowie die Identifikation geeigneter Bindungswerkstoffe, welche im Siebdruckverfahren nutzbar sind und die Leistungsfähigkeit der Schleifsegmente, durch z. B. eine Selbstschärfung, erhöhen. Der Zuwendungsempfänger hat keine Anteile am ersten Arbeitspaket.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP5: Es werden fortlaufend potentielle Probekörper und Rückbauprojekte für die Einsatzuntersuchungen im letzten Arbeitspaket gesichtet und gesammelt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.06.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9429E
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: DIABÜ-Diamantwerkzeuge Heinz Büttner GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (Sieb-Seil). Teilprojekt: Auslegung und Herstellung neuartiger Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schneidstoffanordnung.	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 77.060,70 €
Projektleiter/-in: Dirk Büttner	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: buettner@diabue.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das übergeordnete Projektziel dieses Vorhabens ist die Verfügbarkeit neuartiger Seilschleifwerkzeuge, um die Produktivität des trockenen Seilschleifprozesses im kerntechnischen Rückbau deutlich zu steigern. Gleichzeitig soll die Erzeugung von radioaktiv kontaminierten Sekundärstoffen, wie Altwerkzeuge, durch eine erhöhte Standzeit der Werkzeuge verringert werden. Dies soll durch eine definierte Anordnung der Schneidpartikel erreicht werden. Eine deterministische Anordnung der Schleifkörner sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Prozesskräfte auf die verschiedenen Körner und damit für einen einheitlichen Verschleiß. Auf diese Weise kann eine Reduktion der Prozesskräfte erreicht und die Zeitspanfläche durch eine Erhöhung der Prozessstellgrößen erhöht werden. Die Herstellung von Schleifsegmenten mit definierter Kornanordnung erfolgt auf Grundlage einer vom IFAM Dresden und DIABÜ entwickelten Variante des Siebdruckverfahrens. Im Rahmen dieses Projektes werden außerdem neue Bindungswerkstoffe untersucht, mit dem Ziel mehrlagige und selbstschärfende Schleifsegmente im Siebdruckverfahren herzustellen. In diesem Zusammenhang werden auch die technischen Grundlagen für eine massentaugliche Fertigung geschaffen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

Entwicklung eines parametrischen Simulationsmodells des Seilschleifens für die Auslegung deterministischer Kornanordnungen. Parallel dazu werden geeignete Bindungswerkstoffe für die Herstellung mehrlagiger Schleifsegmente im Siebdruckverfahren identifiziert.

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

Untersuchung der fertigungstechnischen Realisierbarkeit verschiedener Schleifkornmuster und Herstellung von Prototypen mit ausgewählten Setzmustern.

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

Untersuchung der hergestellten Schleifperlen mittels einer Ritzscheibe und iterative Anpassung der Werkzeuge. Optimierung des Herstellprozesses und Entwicklung hybrider Schleifsegmente.

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

Ermittlung der Prozessgrenzen von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Kornanordnung anhand von kurzen Seilen auf einem Analogieprüfstand.

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

Untersuchung der Leistungsfähigkeit der neuen Seilschleifwerkzeuge an praxisnahen Probekörpern und auf einem Rückbauprojekt. Erarbeitung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schleifkornanordnung.

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

AP1: Das Ziel dieses Arbeitspakets ist die Verfügbarkeit eines parametrischen Simulationsmodells zur Simulation des Seilschleifens mit Schleifsegmenten mit deterministischer Kornanordnung sowie die Identifikation geeigneter Bindungswerkstoffe, welche im Siebdruckverfahren nutzbar sind und die Leistungsfähigkeit der Schleifsegmente, durch z. B. eine Selbstschärfung, erhöhen. Es wurden Anforderungen an das Simulationsmodell zum Seilschleifen mit deterministischen Kornanordnungen aus Sicht eines Werkzeugherstellers zusammengetragen. Außerdem wurde mit der Recherche zu geeigneten Bindungswerkstoffen für das geplante Vorhaben begonnen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Im nächsten Schritt werden die industriellen Anforderungen an das Simulationsmodell mit den Projektpartnern diskutiert und ein Lastenheft für die Simulation erstellt. Basierend auf der Recherche zu geeigneten Bindungswerkstoffen erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner IFAM die Beschaffung und Analyse der Bindungswerkstoffe und Schneidpartikel.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.06.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9430A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Werkstoffkunde	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogentrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teil: CAMG-Prozess	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.400.000 €
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Thomas Hassel	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hassel@iw.uni-hannover.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Mit dem Ausstieg aus der Kernenergie ergeben sich in Deutschland neue Herausforderungen bei der technischen Realisierung von Stilllegungs- und Rückbauprojekten. Hierzu sind robuste und sicher durchführbare Technologien erforderlich, die fernhantiert und unter einer Wasserabdeckung zum Einsatz kommen können. Durch die Klassifizierung möglicher Trennverfahren für metallische Werkstoffe in TRL (Technology Readiness Level) von 1-9 kann eine qualifizierte, situationsbedingte Auswahl der Verfahren getroffen werden, wodurch die Sicherheit des Rückbauprozesses erhöht wird. Einen besonderen Vorteil stellen dabei die thermischen Trennverfahren, auf Grund des vereinfachten Manipulationsaufwandes durch das rückstellkraftfreie Arbeiten, dar.

In diesem Forschungsvorhaben soll die Entwicklung des automatisierten CAMG-Schneidverfahren, welches aktuell bei einem TRL von 4-7 einzuordnen ist, vorangetrieben werden. Durch die Aufbringung von verschleißfesten Schneidwerkstoffen mittels additiver Fertigung soll eine deutliche Verringerung des Scheibenverschleißes ermöglicht werden.

Einen weiteren Punkt in dem das Verfahren optimiert werden muss, stellt die die Stromübertragung auf die rotierende Elektrode dar.

Derzeit ist die Übertragung von Arbeitsströmen zwischen 850-3000 A nur durch große taktile Stromübertrager oder eine Stromübertragung mittels Quecksilber möglich.

Zielsetzung des Projektes ist sowohl das Verfahren als auch die Schneidwerkstoffe weiter zu entwickeln und in das Portfolio der thermischen Schneidverfahren für den kerntechnischen Rückbau zu etablieren. Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgt der Bau einer sowohl leistungs- sowie anwendungsfähigen Demonstratoranlage mittels dieser die Technik des CAMG-Verfahrens auf TRL > 8 angehoben werden soll.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Durchführung des Projektes gliedert sich in drei Komplexe. Im Komplex A wird der Scheibenelektrodenverschleiß bewertet, in dem zunächst gut verfügbare und günstige Werkstoffe für den Prozess als Elektrode genutzt werden. Für die unterschiedlichen Elektrodenwerkstoffe werden die Schneiddaten durch mechanisierte Schneidversuche ermittelt. Die Verschleißergebnisse werden in Bezug zu der Schneidleistung diskutiert und hinsichtlich der Gesamtprozessleistung interpretiert. Basierend auf den so gewonnenen Erkenntnissen werden Elektroden additiv gefertigt. Mittels eines Draht/Pulvers basierten koaxialen

Laserschweißprozesses werden Hartauftragungen in Umfangsrichtung auf einen Grundkörper aufgeschweißt. Durchgeführt wird dieser Fertigungsprozess an einem Roboterschweißplatz, wozu im Rahmen des Projektes eine Anlage installiert werden soll. Somit ist ein Werkstoffscreening hinsichtlich der Schneidwerkstoffe sowie ein quantitativer Überblick über das Potential der verfügbaren Schneidwerkstoffe möglich.

Damit zukünftig sichergestellt werden kann, dass die Planung der thermischen Zerlegung mit höchstmöglicher Sicherheit erfolgt, soll in Komplex B nach neuesten Erkenntnissen ein Prototyp eines Schneidgerätes entwickelt werden. Das Stromübertragungsmodul muss hierbei neu ausgelegt werden, um einen entsprechend hohen Leistungsbereich abdecken zu können. Bisherige Erfolge der Flüssigmetallstromübertragung werden genutzt und Gallium als nicht gefährdende Variante gewählt. Wesentliche Schwerpunkte im Entwicklungsprozess sind die elektrische Auslegung und die Kapselung des Moduls.

Während der Projektlaufzeit und abschließend am Projektende werden in Komplex C die Entwicklungen zur Schneidelektrode aus Komplex A und dem Aufbau der Anlage im Komplex B zusammengeführt. Somit kann die Funktionsfähigkeit der Anlage sicher abgebildet werden und eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Gesamtvorhaben durchgeführt werden.

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

- Im Arbeitspakete A/1 wurde eine robotergeführte Laserstrahlschweißanlage bestellt und deren Aufbau in der Halle im Institut für Werkstoffkunde vorbereitet. Parallel erfolgte eine erste Einarbeitung in die Roboterprogrammierung des wissenschaftlichen Mitarbeiters und des Technikers.
- Eine wissenschaftliche Recherche zu den Zielwerkstoffsystemen wurde im Arbeitspaket A/2 begonnen. Dafür wurden unter den Hauptauswahlkriterien hohe thermische Stabilität und gute elektrisch Leitfähigkeit, verschiedene Materialien, wie Eisen-, Kobalt-, Wolfram und Nickelbasiswerkstoffe, betrachtet. Die Basis bilden dafür verfügbare Literaturdaten, Phasendiagramme sowie das Einbeziehen von Erkenntnissen aus den Vorarbeiten.
- Im Arbeitspaket B/1 wurde mit der Erstellung eines Lastenheftes begonnen. Am Institut für Werkstoffkunde wurden dazu zunächst die Zielgrößen für den Prozess wie Materialdicke, Bauteilgeometrien und Manipulationsraum konkretisiert. Aufgeteilt ist das Lastenheft in einzelne Bereiche bei denen zwischen Prozess- und Geräteanforderungen unterschieden wird, um diese besser spezifizieren zu können.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Das Erlernen und Beherrschen der Funktionen der draht- und pulverbasierten Laserstrahlschweißtechnik sowie die weitere Einarbeitung in die Roboterprogrammierung und die Entwicklung einer Aufspanneinrichtung für die additiv zu bearbeitenden Grundscheidscheiben werden im Arbeitspaket A/1 weitergeführt. Anschließend sollen die grundlegenden Untersuchungen zum Bewegungssystem angewendet und gefestigt werden. Um im Bereich des Laserschweißens die in A/2 ausgewählten Werkstoffsysteme testen zu können, werden die für die Scheibenbearbeitung notwendigen Programme entwickelt. Es erfolgen die ersten grundlegenden Untersuchungen in Bezug auf Risse, Porosität und Schweißnahtgeometrie der additiv aufgebauten Strukturen.
- Im Arbeitspaket A/2 wird die Recherche zu anwendbaren Verschleißschutzsystemen für die Scheibenwerkstoffe auf Draht- und Pulverbasis fortgeführt und beendet. Die Werkstoffe, die nach der Recherchearbeit für den Prozess in Frage kommen, werden

mittels Härteprüfung hinsichtlich der Verschleißfestigkeit und Leitfähigkeitsprüfung hinsichtlich der elektrischen Eigenschaften näher untersucht und durch DSC (differential scanning calorimetry) werden Umwandlungspunkte und Schmelztemperaturen bestimmt.

- Für das Arbeitspaket B/1 ist die Fertigstellung des Lastenheftes geplant. Daraufhin soll ein gemeinsamer Workshop mit dem Projektpartner EWN zur Präsentation und Diskussion des erstellten Lastenheftes erfolgen. Auf dem Austausch basierend und in gemeinsamer Arbeit soll zudem ein Pflichtenheft formuliert werden.
- Im Arbeitspaket B/2 erfolgt die Auslegung, Konstruktion und der Bau des Kraftübertragungsstranges für die Scheibenrotation. Um die Leistungsfähigkeit der Schneideinrichtung richtig dimensionieren zu können, müssen Analysen zum Kraft/Drehzahlverhältnis durchgeführt werden. Die ausgewählten Bauteile sollen dann beschafft oder am Institut für Werkstoffkunde gefertigt werden, was ebenfalls die Kalkulation der entsprechenden Verbrauchsmaterialien beinhaltet. Der für die Rotation geplante wasserhydraulische Antrieb muss ebenfalls ausgelegt und beschafft werden.

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: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9430B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogentrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teil: CAMG-Anwendung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 147.772,23 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Ing. Torsten Wollermann	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: torsten.wollermann@ewn-gmbh.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Für den Rückbau kontaminierter und aktivierter Metallstrukturen (z. B. Reaktorbauteile) stellt das fernhantierte Arbeiten unter einer Wasserabdeckung eine wichtige technologische Säule dar. Hierzu sind robuste und sichere Technologien erforderlich, welche als Alternativverfahren nebeneinander in einer Art Werkzeugkasten der Rückbautechnologien angeordnet sind. Dies ermöglicht die Realisierung technologischer Alternativen zur sicheren Erfüllung der Aufgabe. Schon in der Angebotsplanung sind Unternehmen gefordert Rückbauaufgaben sehr konkret und umfassend zu planen und die Trenntechniken festzulegen, welche nach dem Stand der Technik geprüft werden müssen. Im Forschungsprojekt wird das CAMG-Schneiden thematisiert, um es für den praktischen Einsatz vorzubereiten. Zielsetzung des Projektes ist es, sowohl das Verfahren als auch die Schneidwerkstoffe einsatzbereit zu entwickeln und in das Portfolio der thermischen Schneidverfahren für den Rückbau kerntechnischer Anlagen einzureihen. Das Gesamtziel des Projektes lässt sich durch zwei wesentliche Teilziele erreichen. Zum einen ist die Maschinentechnologie zum CAMG Schneiden aus dem labortechnischen Bereich in den anwendungstechnischen Bereich zu übertragen. Dies erfolgt im Wesentlichen durch die Entwicklung eines auf Gallium basierenden Hochstromübertragers, durch welchen große Ströme auf die rotierende Scheibe übertragen werden können. Dazu wird ein modernes Gesamtkonzept zum Aufbau einer CAMG Maschine erarbeitet und umgesetzt, sodass der Einsatz unter praxisgleichen Bedingungen nachgewiesen werden kann. Zum anderen wird mittels neuer Fertigungsverfahren die Frage der Beständigkeit der Schneidscheiben erforscht indem belastbare und anwendungstaugliche Schneidstoffe entwickelt werden. Durch die Nutzung der additiven Fertigung besteht hier ein sehr großes Potential erhebliche Fortschritte zu erzielen, da die Schneidstoffe in großer Variabilität und Anzahl verfügbar sind und in kurzer Zeit hergestellt werden können.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

In Zusammenarbeit mit dem Gottfried Wilhelm-Leibniz-Universität Hannover, Institut für Werkstoffkunde erfolgt sowohl der Aufbau einer leistungsfähigen und anwendungsfähigen Demonstratoranlage, um die Technik auf einen TRL>8 zu heben. Parallel dazu wird die Scheibenelektrode als zentraler Punkt der Forschung fokussiert, da die Kenntnisse zur Beständigkeit und zum Verschleißverhalten als noch nicht ausreichend für die Anwendung erkannt sind.

Der Arbeitsplan ist dabei in die Komplexe A - Scheibenelektrodenverschleiß und B - CAMG – Schneidgerät und C – Zusammenführung der Entwicklungen untergliedert.

Bereich A:

- A/1 Roboterbasierte Laserschweißeinrichtung
- A/2 Verschleißschutzsystemen für die Scheibenwerkstoffe auf Draht- und Pulverbasis
- A/3 Schweißen von 3d Strukturen
- A/4 Untersuchung der Werkstoffeigenschaften der additiv gefertigten Materialien
- A/5 Herstellung von Schneidscheiben zur Anwendung
- A/6 Untersuchung des Werkzeugverschleißes
- A/7 Erarbeitung eines Werkstoffrankings
- A/8 Wirtschaftliche Betrachtung zur Kostenentwicklung des Scheibensystems

Bereich B:

- B/1 Erstellung eines Pflichten- und Lastenheftes
- B/2 Auslegung, Konstruktion und Bau der Einzelkomponenten zur Kraftübertragung
- B/3 Auslegung, Konstruktion und Bau der Einzelkomponenten zur Stromübertragung
- B/4 Recherche, Auslegung, Konstruktion und Integration eines Schnellverschlussystems für den Scheibenwechsel
- B/5 Aufbau und Inbetriebnahme der prototypischen Technikumsanlage mit TRL>7
- B/6 Schneidversuche und Darstellung der Robustheit und Leistungsfähigkeit der Technikumsanlage
- B/7 Schneiduntersuchungen zur Darstellung des TRL der Scheiben aus dem Komplex A
- B/8 Wirtschaftliche Betrachtung zu den Gesamtkosten

Arbeitsschritte Bereich C:

- C/1 Gesamtdokumentation zum Aufbau und Bedienung der Anlagentechnik und zur Herstellung und Qualität der Schneidscheiben
- C/2 Erarbeitung eines Anwendungsmerkblattes inklusive einer Gefährdungsbeurteilung zur Darstellung des erreichten TRL
- C/3 Beschreibung des Anwendungsprofils und Diskussion der Genehmigungsfähigkeit

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

- A/2 Verschleißschutzsystemen für die Scheibenwerkstoffe auf Draht- und Pulverbasis
 - Grobplanung der Recherchen zu den am Markt verfügbaren draht- und pulverförmigen Werkstoffen für die Herstellung der additiv gefertigten Scheiben in Zusammenarbeit mit der Leibniz Universität, Institut für Werkstoffkunde.
- B/1 Erstellung eines Pflichten- und Lastenheftes
 - noch keine konkreten Arbeitsschritte bzw. Abstimmungen erfolgt

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Projektbereich A:

Weiterführung der Marktrecherche und Planungsausbau für die Verschleißschutzsysteme der Scheibenwerkstoffe auf Draht- und Pulverbasis.

Projektbereich B:

Weiterführung der Erstellung eines Pflichten- und Lastenheftes.

Erstellung und Entwicklung von 3D-Konstruktionsunterlagen zur Darstellung und Bewertung der Baustrukturen bzw. Einrichtungskomponenten.

Projektbereich C:

Noch nicht geplant.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9409A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V.	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen TP: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung in reaktornahen Bauteilen und deren Validierung an Experimenten als Basis der Aktivitätsrechnungen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2018 bis 30.11.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 754.606,65 €
Projektleiter/-in: Jörg Konheiser	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: j.konheiser@hzdr.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

Damit ist eine zerstörungsfreie und frühzeitige radiologische Charakterisierung im Bereich der gesamten 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 Gammaskopmetrie oder anderer Methoden werden die entstandenen Aktivitäten gemessen und zur Validierung der Rechnungen genutzt.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 1: Das Reaktormodell wurde und wird außerhalb des biologischen Abschirmung erweitert. Besonders die Räume des ersten Kreislaufes mit seinen Einbauten stellt dabei an die Modellierung hohe Anforderungen. Das Modell bildet alle Großkomponenten ab. Das ist der Dampferzeuger, die Hauptumwälzpumpe und die Primärumwälzleitung. Auch in den bereits vorhandenen Bereichen werden neue Erkenntnisse/Informationen integriert.

AP 2: Bisher wurde die Neutronenfluenzverteilung im Reaktor in einem feinen Netz von 10x10x10 cm berechnet. Das führte in weit entfernten Bereichen von der Quelle zu großen statistischen Unsicherheiten in einigen Segmenten. Mit dem Kooperationspartner wurde dieses diskutiert und beschlossen, in Abhängigkeit des Flussgradienten das Gitternetz zu vergrößern. So wurden die Berechnungen mit einem Netz von 20x20x50 cm und einem Netz von 30x30x50 cm wiederholt. Die endgültige Fluenzverteilung wurde dann durch eine Wichtung der Ergebnisse auf der Basis der Unsicherheiten der Werte erhalten.

Auch die Neutronenfluenzspektren in den RDB-Segmenten (20 Segmente) wurde verfeinert und in einer 640 Energiegruppenstruktur neu berechnet. Eine besondere Herausforderung stellte dabei die Berechnungen statistisch abgesicherte Werte im gesamten Energiebereich dar. Nur durch die Verwendung von Varianzreduzierenden Techniken (z.B. Weight Window) konnten diese erzielt werden.

Im Frühjahr 2021 war der vorletzte Zyklus der Referenzanlage beendet. Entsprechend der jetzt vorliegenden Leistungsgeschichte wurden die Quellen für diesen Zyklus berechnet. Parallel dazu wurde für die zweite Anlage vergleichbares durchgeführt, hier aber nur quasi für den haben Zyklus bis zur Entnahme der ersten Monitorpakete. Wie bei den anderen Zyklen wurde für kurzlebige Monitore separate Quellen erzeugt, die die Veränderung der Verteilung innerhalb des Zyklus berücksichtigen.

Die Neutronenfluenzen und die daraus resultierenden Aktivierungen des zweiten Satzes von Monitoren aus dem Referenzkraftwerk 2 sind berechnet wurden und mit den erhaltenen Messergebnissen verglichen. Diese befanden sich in einem Kanal in der inneren Betonabschirmung. Die Ergebnisse der Berechnungen stimmten sehr gut mit den Messwerten überein.

AP 3. Im Januar 2021 wurden 19 Neutronenfluenzmonitorpakete aus einem Kanal, der sich in der inneren Abschirmung befindet, des Referenzkraftwerk 2 entnommen und entsprechend

gammaskopisch untersucht. Im März 2021 wurden aus Referenzkraftwerk 1 ca. 60 Fluenzmonitorpakete entnommen und gleichzeitig neue Monitorpakete ausgelegt. Die Monitore außerhalb der biologischen Abschirmung wurden entsprechend der jetzt gewonnenen Erfahrungen, nur noch mit Ta, Zn, Sn und In ausgerüstet. Auch die Masse der einzelnen Monitore wurde vergrößert um geringe Neutronenfluenzen messen zu können.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Der Ausbau des Modells auf den Dampferzeugerraum wird weitergeführt und abgeschlossen.

AP 2: Eine Neutronenfluenzrechnungen für das erweiterte Modell wird durchgeführt und die entsprechende Aktivierung der Monitore bestimmt. Der Fokus liegt dabei auf dem Vergleich mit den Aktivitäten von den Monitoren, die außerhalb des äußeren biologischen Abschirmung platziert sind.

Nach Beendigung der Zyklen werden die Quellen für die Referenzanlagen, anschließend entsprechende Neutronenfluenzrechnungen und deren Validierung an den Experimenten.

AP 3: In der letzten Revision der Referenzanlage 2 werden die Monitore noch einmal getauscht. Bestimmung der Aktivierung der Monitorsätze aus beiden Referenzanlagen mittels Gammaskopie und LSC.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

WERREBA Projekt

6. Berichte und Veröffentlichungen

R. Rachamin, J. Konheiser, A. Barkleit, S. Marcus, "Decommissioning Studies of German PWR: Neutron Fluence Calculations and Experimental Measurements", Proc. of 15th International Symposium "Conditioning of Radioactive Operational & Decommissioning Wastes", Dresden, Germany, August 25-27, 2021.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9409B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWTH Aachen, Lehrstuhl für Endlagersicherheit (ELS)	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen“ – EMPRADO Titel des Teilprojekts: Entwicklung und Anwendung einer Methode zur genauen Berechnung der Aktivitäts- und Dosisleistungsverteilung von KKW für optimalen Rückbau	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2018 bis 30.11.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 694.085,52 €
Projektleiter/-in: Dr. Frank Charlier / Prof. Dr. R. Nabbi	E-Mail-Adresse des Projektleiters: charlier@els.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, Lehrstuhl für Endlagersicherheit (ELS) und AP 2 und 3 im anderen Teilprojekt bearbeitet durch das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V. (HZDR), Institut für Ressourcenökologie (IRE). Die Durchführung des AP1 erfolgt durch die beiden beteiligten Institute.

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 4.1: Erstellung Datenbibliothek für Aktivierungswirkungsquerschnitte

Im Rahmen des AP2 (HZDR) wurden für die Generierung der Aktivierungs-wirkungsquerschnitte neue segmentbezogene Neutronenspektren für den Reaktor-druckbehälter (in 640 statt 175 Energiegruppen) zur Verfügung gestellt. Die neuen Spektralrechnungen waren erforderlich, da die bisherigen Daten (in 175 Gruppen) zu einer signifikanten Überschätzung der Aktivität in den Teilen des Reaktordruckbehälters (RDB) führten. Deshalb wurde im diesem Berichtszeitraum für alle Segmente des RDB und damit für das gesamte Anlagenmodell eine einheitlich auf 640-Gruppen-Spektren basierender Datenbank für die A-Wirkungsquerschnitte generiert, welche den neuen Aktivierungs-berechnungen zugrunde gelegt wurden (AP 4.2).

AP 4.2: Berechnung der 3D-Aktivitätsverteilung

Aufgrund der statistischen Ungenauigkeit der Fluenzwerte (aus AP2) in den äußeren Strukturen wurden neue Rechenwerte generiert und zur Verfügung gestellt. Diese Daten wurden im Rahmen des AP 4.2 mit Hilfe eines Interpolationsalgorithmus auf feine Gitterstruktur (10x10x10 cm) erweitert. Mit diesen neuen Fluenzwerten wurde anschließend die Berechnung der 3D Aktivitätsverteilung für die Vor-Konvoi-Anlage durchgeführt. Außerdem wurden die Ergebnisse anhand von Vergleichsrechnungen mit den entsprechenden Modulen des internationalen Programmsystems SCALE überprüft. Der Vergleich der beiden Verfahren am Beispiel des RDB zeigte eine gute Übereinstimmung für den Rückbau relevanten Radionuklide wie zum Beispiel Co-60 und Ni-63 (im Unterschied zu Fe-55). Die Analyse zeigte, dass die nuklidspezifischen Abweichungen auf die Grunddaten der verwendeten nuklearen Datenbanken zurückzuführen sind (ENDF/B-VIII.0 bzw. JEFF-A/3.0).

AP 5.1: Bestimmung der Verteilung der Strahlungsquellterme

Aufgrund der Größe der Gitternetz-basierten γ -Quelltermdatei (generiert im letzten Halbjahr) wurde diese durch die Gruppierung der Gitterelemente in eine Datei umgewandelt, welche das γ -Spektrum und die Emissionsstärke in den einzelnen Segmenten des gesamten Anlagenmodells komponentenbezogen beinhaltet. Im Hinblick auf die geplanten Strahlen-transport- und ODL-Berechnungen wurden die segmentbezogenen Quelltermdateien mit Hilfe einer Programmroutine zur Kopplung mit dem MC-Code MCNP (AP 5.2) vorbereitet.

AP 5.2: Simulation des Strahlenfelds und der ODL-Verteilung

In diesem Zeitraum erfolgte die Erstellung der einzelnen MCNP-Dateien für die sämtlichen Bauteile und Segmente des gesamten Anlagenmodells. Diese Dateien bilden die Grundlage für die Berechnung des Strahlungseffekts jedes einzelnen Bauteilsegments zur gesamten γ -Flussverteilung im Anlagenmodell (AP 5.2, geplante Arbeiten). Nach Abschluss der einzelnen

Strahlentransportberechnungen und Überlagerung der Ergebnisse ergibt sich die integrale Verteilung des γ -Flusses und der ODL. Im Rahmen des Arbeitspakets wurden außerdem nach einer umfassenden Prüfung des Strahlentransportmodells die ersten Testsimulationen (γ -Flussverteilung) am Beispiel des Strahleneffekts des RDB durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 4.1: Erstellung Datenbibliothek für Aktivierungsberechnungen

Diesbzgl. sind im nächsten Berichtszeitraum keine weiteren Arbeiten geplant.

AP 4.2: Berechnung der 3D-Aktivitätsverteilung

Für den nächsten Berichtszeitraum sind weitere detaillierte Aktivierungsberechnungen für die Vor-Konvoi-Anlage sowie Vergleichsrechnungen mit dem Programmsystem SCALE geplant. Diese beinhalten die Berechnungen für weitere Anlagenteile, in denen aufgrund der N-physikalischen Bestrahlungsverhältnisse abweichende Aktivitätswerte (nuklidspezifisch) möglich sind. Außerdem werden (AP 4.2) für eine weitere Anlage des Typs KONVOI simulationstechnische Vorbereitungen für A-Berechnungen unternommen (hinsichtlich Bestrahlungsdauer und Fluenzverteilung sowie der aktivierungsrelevanten Bestandteile der Strukturmaterialien). Anschließend werden die ersten A-Berechnungen für diesen Anlagentyp, KONVOI, durchgeführt.

AP 5.1: Bestimmung der Verteilung der Strahlungsquellterme

Die im Rahmen dieses AP vorgesehenen Arbeiten wurden bereits durchgeführt.

AP 5.2: Simulation des Strahlenfelds und der ODL-Verteilung

Im nächsten Halbjahr werden unter Zugrundelegung des entwickelten Strahlentransport-modells und der bauteilbezogenen γ -Emissionsspektren die ersten Simulationsrechnungen mit dem Rechenprogramm MCNP durchgeführt. Als erstes werden die γ -Fluss- und ODLs-Verteilung im gesamten Anlagenmodell als Beitrag der Strahlung des RDB berechnet. Nach der Auswertung des Simulationsergebnisses erfolgt die Simulation des Strahlungseffekts eines weiteren aktivierten Bauteils der Anlage. In der weiteren Phase des Projekts (1.Halbjahr 2022, AP 5.2) wird mit weiteren Simulationsrechnungen der Beitrag aller restlichen aktivierten Strukturen zum gesamten Strahlenfeld und zur Verteilung der integralen ODL bestimmt.

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 (Vorschau)

M. Nolden, et al. „Radiologische Charakterisierung von Kernreaktoren für den Rückbau“
KONTEC-2021, August, Dresden

A. Scaramus et al. “Radiological Characterization of a German PWR”
Die Jahrestagung „Strahlenschutz und Entsorgung“, Sept. 2021, Aachen

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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 31.12.2022	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 Neutronenfluss- und Aktivitätsverteilungen

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 1: Die Stahlproben aus dem Reaktordeckel stehen jetzt für Untersuchungen am HZDR zur Verfügung. Es wurden 4 der geplanten 7 Betonbohrkerne seitens EWN gebohrt und zum HZDR transportiert.

AP 2: An Metallproben aus dem Reaktordeckel wurden gammaspektroskopische Messungen zur quantitativen Bestimmung von Co-60 durchgeführt. Außerdem wurden ausgewählte Stahlproben aus den gleichen Positionen mit dem Oxidizer verbrannt und so für die Bestimmung des C-14-Gehaltes mittels LSC vorbereitet. Die anschließenden LSC-Messungen der C-14-Aktivität haben den erwarteten Trend der Aktivitätsverteilung gezeigt. Je näher die Proben dem Reaktorkern waren (sowohl vertikal als auch radial), desto höher ist die Aktivierung. Dies gilt auch für die Co-60-Aktivierung.

AP 3: An kleinen inaktiven Referenzbetonbohrkernen ($\varnothing = 5 \text{ mm}$, $m = 0.15 \pm 0.1 \text{ g}$) wurde die Porosität auf Mikro- und Nano-Skala durch μ -CT und Hg-Porosimetrie bestimmt (11-14 %). Mittels μ -CT wurde eine Dichteabbildung von einer Probeoberfläche ermittelt; die gleiche Oberfläche wurde anschließend mit REM-EDX untersucht. Die dichte Mineralienphase ($4,4 \text{ g/cm}^2$ durch μ -CT bestimmt) beinhaltet Eisen und Titan (durch EDX bestimmt), vermutlich Ilmenit.

Die Aktivierung und Strukturveränderungen von Betonproben, welche im Rahmen des EMPRADO-Projektes in einem Kernkraftwerk während eines halben Zyklus bestrahlt wurden, wurden mittels Gammaspektroskopie und NMR untersucht. Es konnten die durch Neutronenaktivierung gebildeten Radionuklide Co-60, Ba-133, Eu-152 und Eu-154 quantitativ bestimmt werden. Die NMR-Messungen werden zurzeit ausgewertet.

AP 4: Die Vergleichsrechnungen für Probenpositionen mit zunehmendem Abstand zur Spaltzone wurden fortgeführt, sind jedoch noch nicht abgeschlossen. Die Neutronenfluenz ist an der Außenseite des Reaktordeckels größer als an der Innenseite. Es zeichnet sich eine starke Abhängigkeit der Neutronenfluenzen und Aktivitäten im Beton von der Massendichte und chemischen Zusammensetzung ab.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Die Bohrung der noch ausstehenden Betonbohrkerne soll seitens EWN bis Ende 2021 abgeschlossen sein.

AP 2: Die Betonbohrkerne und Stahlproben aus dem Reaktordeckel werden für die Analysen vorbereitet. Beton: Bohrung kleiner Kerne, Sägen von feinen Scheiben, Trennung von Metall- und Steinzuschlag von Zementmatrix; Stahl: Sägen kleiner Plättchen. Die Radionuklide werden radiochemisch aus den Stahl- und Betonproben abgetrennt und anschließend die Aktivitäten mittels Gammaspektroskopie und LSC quantitativ bestimmt.

AP 3: Im Rahmen einer Bachelorarbeit (Richard Lessing) soll die Auflösungskinetik von strahlbeschädigtem Quarz in alkalischen Medien weiter untersucht und mit unbestrahlten Referenzmaterialien verglichen werden. Partikel- und Oberflächengrößen sollen mit verschiedenen Methoden bestimmt und verglichen werden (N_2/BET , UV-vis mit Methylenblau). Außerdem werden Zeta- und Redoxpotentiale gemessen (Betreuung: Q. Roode-Gutzmer).

Verschiedene Quarze, Feldspäte (Mikroclin, Albit, Orthoklas) und Betonproben werden mit Silonen (Fluenz: $5 \cdot 10^{14}$; Ionen/ cm^2 , 300 keV) bestrahlt (Ionenstrahlzentrum, HZDR). Die Probenvorbereitung (sehr glatte Polierung mit Ar-BIB) wird in Kooperation mit der Bauhaus-Universität Weimar durchgeführt.

Die RDB- und Reaktordeckel-Stahlproben werden mittels SEM-EDX sowie Raman-Spektroskopie charakterisiert.

AP 4: Die Strahlungstransportrechnungen werden fortgeführt, wobei neben der Aktivitätsberechnung ein Schwerpunkt auf dem Einsatz varianzreduzierender Methoden liegen wird.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

EMPRADO Projekt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Poster: „Porosity characterisation of intact concrete specimens“

Q. I. Roode-Gutzmer, J. Kulenkampff, A. Barkleit, T. Stumpf

3rd ICCCM International Conference on the Chemistry of Construction Materials, GDCh, 15.-17.03.2021, Karlsruhe / Online, Germany

Vortrag: “Examining out-of-plane expansion of aggregate minerals in ion-irradiated concrete”

Q. I. Roode-Gutzmer, S. Schymura, A. Barkleit, T. Stumpf

9. Radiochemischer Workshop, VKTA, 08.-09.06.2021, Rossendorf / Online, Germany

Poster: „Investigation of the radioactive inventory in the reactor pressure vessel of a nuclear power plant - a key for efficient nuclear waste disposal“

G. Yassin, A. Barkleit, V. Brendler

9. Radiochemischer Workshop, VKTA, 08.-09.06.2021, Rossendorf / Online, Germany

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 31.12.2021	Förderkennzeichen: 15S9413A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Postfach 200 733, 80007 München Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Standort Dresden-Klotzsche, Maria-Reiche-Str. 2, 01109 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt „Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen“. Teilprojekt A: Verfahrensentwicklung zur Dekontamination und Konditionierung der Prozessmedien einschließlich Gewinnung/Her- stellung und Charakterisierung von betonproben Charakterisierung von Betonproben“	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 30.04.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 736.792,89 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Chem. H.–J. Friedrich	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hans-juergen.friedrich@ikts.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- AP1: Projektkoordination und Administratives
- AP2 Bereitstellung und Charakterisierung von Beton aus kerntechnischen Anlagen
- AP3 Untersuchungen zur Verifizierung der Kontaminationsverteilung in radioaktiv kontaminierten Betonproben
- AP4 Aufbau der Versuchsanlage zur Elektroimpulszerkleinerung, Durchführung von Versuchen zur Separation an synthetischen und realen Betonproben
- AP5 Untersuchungen zur Behandlung des Prozesswassers
- AP6 Experimentelle Untersuchungen zur Konditionierung der erhaltenen Stofffraktionen
- AP7 Stoffstrom-/Radionuklidbilanzierung, Verfahrensbewertung, Fortschreibung Verwertungskonzept

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

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

AP1: Die Aktivitäten zu AP 1 erfolgten planmäßig.

AP2: Die Charakterisierungen wurden weitgehend abgeschlossen. Je nach Erfordernis erfolgten noch einzelne Analysen an Betonproben, die als Ausgangsmaterial für die Versuche dienen.

AP3: Nach dem Abschluss der Untersuchungen zur Verteilung von inaktiven Kontaminanten auf die mineralischen Hauptbestandteile von zwei Betonsorten wurden die Versuche mit radioaktiven Kontaminanten aufgenommen. Dazu wurden weitere Betonproben gefertigt, zu Prüfkörpern aufgearbeitet und die gegenüber einer Lösung exponiert, die Co-60, Cs-137, Eu-152 und Sr-90 enthält. Nachfolgend wird das Material zerkleinert und die Verteilung der Radionuklide auf die Mineralphasen analysiert. Die Versuche sind noch nicht abgeschlossen.

AP4: Das Arbeitspaket wird federführend durch den Verbundpartner ImpulsTec GmbH bearbeitet. Es fanden weitere technische und strahlenschutztechnische Abstimmungen zur Aufstellung und zum Betrieb einer Laboranlage im Radionuklidlabor des IKTS statt. Vom Verbundpartner wurden zur Durchführung weiterer Versuche zur Prozesswasserbehandlung entsprechende Wasserproben erzeugt und übergeben.

AP5: Mit dem errichteten Teststand wurden zahlreiche Versuchsreihen zur Abtrennung von Co, Cs, Eu und Sr aus dem Kopplungsmedium der elektrohydraulischen Fraktionierung durchgeführt. Die geforderte Entsalzung für das interne Recycling des Prozesswassers gelingt dabei ohne weiteres. Im Weiteren wurde die Verteilung der o.g. chemischen Elemente auf die Prozessströme der Elektrodialyse untersucht. Erwartungsgemäß konnte dabei festgestellt werden, dass sich der weitaus größte Anteil davon im sog. Konzentratstrom wiederfindet. Geringe Anteile verbleiben im Diluatstrom, der in den Zerkleinerungsprozess zurückgeführt werden soll. Ein Übertritt wurde auch in die Spüllösungen der Elektroden festgestellt, speziell von Cs. Durch entsprechende Vor- und Nachkonditionierung können Co und Eu quantitativ aus diesen Lösungen abgetrennt werden. Im Falle von Sr und insbesondere von Cs gelingt dies gegenwärtig noch nicht.

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 den Herbst 2021 geplant.

AP2: Die Untersuchungen sind im Wesentlichen abgeschlossen. Nur bedarfsweise erfolgen noch ergänzende Analysen.

- AP3: Die Untersuchungen unter Verwendung inaktiver Tracer (Co, Cs, Eu, Sr) sind abgeschlossen. Die Durchführung analoger Versuche mit Radiotracern zur Verifikation wird fortgesetzt.
- AP4: Die Umsetzung einer Versuchsanlage zur elektrohydraulischen Fragmentierung in das Radionuklidlabor wird weiter vorbereitet. So erfolgte ein teilweiser Umbau der Elektroinstallation im Hinblick auf die zu erwartenden kurzzeitigen Lastspitzen und eine Bewertung der zu erwartenden Exposition gegenüber den Radionukliden.
- AP5: Die Untersuchungen werden fortgesetzt, insbesondere im Hinblick auf den Einfluss des Ionenaustauschermembrantyps auf den Stoffübergang und auf die maximal erreichbare Konzentration im Kozenratstrom der Elektrodialyse. Im Zuge dessen werden auch die Untersuchungen zur Erhöhung der Abtrennung von Sr und Cs weitergeführt.
- AP6: Die Bearbeitung wird im IV Quartal 2021 begonnen.
- AP7: Ausgehend von den Ergebnissen zu AP3 wird die Bearbeitung fortgesetzt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Für das BMBF-Förderprojekt WARREBA, Fkz. 15S9412 wurden Daten aus der Charakterisierung der Betonsorten zur Verfügung gestellt. Es besteht gelegentlicher Kontakt zu den Bearbeitern, zuletzt anlässlich des RCA-workshops im Juni 2021.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Für die KONTEC 2021 wurde ein Vortrag für die KONTEC-direkt-Session angenommen.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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 freilegbar 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 der Aufbau des Versuchstandes für die Nutzung beim Projektpartner Fraunhofer IKTS für den Aufschluss von kontaminierten Betonproben begonnen. Im weiteren Projektverlauf soll der Teststand temporär am Fraunhofer IKTS installiert und für die Behandlung von radioaktiven Betonmuster verwendet werden.

AP3: Die Arbeiten zur systematischen Untersuchung des Betonaufschlusses wurden fortgesetzt. Der neue, optimierte Versuchsreaktor wurde in Betrieb genommen. Dabei wurden die Einflussfaktoren Füllstand/Einwaage, Stückgröße des Aufgabegutes, Feinanteil, Prozessraum, Elektroden und Prozesswasserleitfähigkeit untersucht und ein zu bevorzugendes Setup für den Betonaufschluss ermittelt.

Im nächsten Schritt wurden verschiedene Betonmischungen zerkleinert, welche im Vorfeld mit definierter Zusammensetzung am Fraunhofer IKTS hergestellt wurden. Die Behandlungsdauer wurde dabei je nach Betonprobe individuell gewählt. Als vorläufiges Abbruchkriterium wurde eine optisch saubere grobe Kiesfraktion gewählt. Alle Proben wurden zusammen mit dem Prozesswasser an die Kollegen vom Projektpartner Fraunhofer IKTS zur Auswertung und Analyse übergeben.

Als nächster Schritte rückt die weitere Optimierung des Behandlungsprozesses mit dem Ziel der weiteren Verringerung der Restzementgehalte in der groben Kiesfraktion in den Fokus. Ziel dabei ist es ein Maximum der erzielbaren Reinheit der groben Gesteinskörnung auf rein mechanischem Wege mittels Schockwellenprozess zu erproben.

AP6: Eine Bearbeitung war im Berichtszeitraum nicht vorgesehen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Geplant ist die Umsetzung des Konzeptes der temporären Versuchsanlage für den Aufschluss kontaminierter Betonproben am Fraunhofer IKTS.

AP3: Die Arbeiten zur Entwicklung des Aufschlussprozesses für verschiedene Betonproben sollen fortgeführt werden. Ziel dabei ist es die maximal erzielbare Reinheit zu ermitteln.

AP6: Die Bearbeitung ist erst im letzten 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: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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: Verbundvorhaben: 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	
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 den 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: (01.01.20-30.04.20): Anforderung des Versuchsstandes
- AP 3: (01.03.20-31.01.21): Aufbau des Versuchsstandes
- AP 4: (01.09.20-31.07.21): Inbetriebnahme des Versuchsstandes/ der Messtechnik und Optimierung
- AP 5: (01.11.20-31.08.21): Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster/Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 6: (01.08.21-30.09.21): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme der Versuchsmuster
- AP 7: (01.05.21-31.12.21): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster

AP 8: (01.01.22-30.04.22): Versuche vor Ort

AP 9: (01.05.22-31.07.22): Dokumentation und Evaluation

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

AP 3: Aufbau des Versuchsstandes

Die Einhausung gegen die Staubausbreitung wurde geplant. Die zweiteilig aufklappbare Tür wurde mit dem Acrylglas und Aluprofil aufgebaut. Die Rollos und Bürstenabdichtungen für die beidseitigen Wände wurden montiert, um die Bewegung der Lineareinheit und die Staubdämmung parallel zu ermöglichen. Die Messpositionen für das Schallpegelmessgerät und den Echtzeit-Staubmonitor wurden entschieden und angefertigt.

Die erste Version der Werkzeughalterung wurde entsprechend dem aktuellen Anwendungsbedarf hergestellt und ermöglicht somit die Durchführung der ersten Versuchsreihe mit dem ersten Prototyp (gleichläufiger Stufenfräser). Für die Herstellung wurden verschiedene Herstellungsverfahren (z.B. Nieten, Schweißen) und Materialien ausprobiert. Die Werkzeughalterung ist modifizierbar, weil nicht alle Geräte mit derselben Werkzeughalterung eingespannt werden können. Die weiteren Werkzeughalterungen werden nach den Anforderungen in AP 7 konzipiert und hergestellt.

AP 4: Inbetriebnahme des Versuchsstandes/ der Messtechnik und Optimierung

Das Befestigungsmittel für den Vibrationssensor wurde ausgewählt und ausprobiert. Anschließend wurde das Vibrationsmessgerät getestet und für die weiteren Versuche bereitgestellt. Der Echtzeit-Staubmonitor wurde im Versuchsstand angepasst und eingesetzt. Eine Luftpumpe wurde eingesetzt, damit ein bestimmter Luftstrom vom Versuchsstand kontinuierlich abgesaugt werden kann. Die Vorversuche wurden im Versuchsstand durchgeführt, um die Funktionalität des Versuchsstandes zu überprüfen. Die vertikale Führung der Lineareinheit wird noch versteift bzw. optimiert.

AP 5: Entwicklung und Anfertigung des Versuchsmusters/ Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung

KIT-TMB unterstützt die CONTEC GmbH und die HTWG bei der Entwicklung und Anfertigung der Prototypen, um die Einspannung der Prototypen an dem Versuchsstand zu ermöglichen und zu optimieren.

AP 7: Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster

Der Ablaufplan/ Versuchsplan und das Versuchsprotokoll wurden anfertigt und werden weiter aktualisiert. Im Rahmen einer Masterarbeit wurden Versuche zum Vergleich der Effizienz des Abtragmechanismus von verschiedenen Werkzeugen (Nadelpistole DIMU Typ 34 B, enviro Eckfräse C25, enviro Hand-Schleifmaschine ASM 125, der erste Prototyp) bezüglich Oberflächenrauigkeit der Probekörper durchgeführt. Die erste experimentelle Versuchsreihe mit dem ersten Prototyp (gleichläufiger Stufenfräser) und den im AP 3 hergestellten Probekörper (Betongüte C25/30) wurde angefangen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 4: In Zusammenarbeit von KIT-TMB und HTWG sollen die Inbetriebnahme des Versuchsstandes/ der Messtechnik und Optimierung weitergeführt werden.

AP 5: Die Projektpartner HTWG, KIT-TMB und CONTEC GmbH fertigen und optimieren die Versuchsmuster und die Einhausung mit Absaugung weiter.

AP 6: Montage der Prototypen am Versuchsstand und Herstellung zusätzlicher Probekörper mit unterschiedlicher Betonfestigkeit

AP 7: Die weitere Durchführung der experimentellen Versuchsreihen und die Analyse der Versuchsergebnisse

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Geplante Veröffentlichungen:

08/2021 KONTEC Symposium 2021 (Paper (eingereicht) + Poster)

Thema: Entwicklung neuer Technologien zur Dekontamination von Kanten und Störstellen

09/2021 DEM Symposium 2021 (Paper (eingereicht) + Vortrag)

Thema: Development of a new machine for the decontamination of corners and inner edges on concrete surfaces

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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) Teilvorhaben: 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 den 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: (01.01.20-30.04.20): Anforderung des Versuchsstandes
- AP 3: (01.03.20-31.01.21): Aufbau des Versuchsstandes
- AP 4: (01.09.20-31.07.21): Inbetriebnahme des Versuchsstandes/ der Messtechnik und Optimierung
- AP 5: (01.10.20-31.08.21): Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster/Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 6: (01.08.21-30.09.21): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme der Versuchsmuster
- AP 7: (01.04.21-31.12.21): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster
- AP 8: (01.01.22-30.04.22): Versuche vor Ort

AP 9: (01.05.22-31.07.22): Dokumentation und Evaluation

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

AP4 Inbetriebnahme des Versuchsstandes/ der Messtechnik und Optimierung

Die HTWG hat ihr Fachwissen am TMB eingebracht um die Signalqualität zu verbessern und den Versuchsablauf zu vereinfachen. In einer Masterarbeit wurde ein rechnerisches Modell geschaffen, welches es erlaubt über den Laser das abgetragene Volumen in der Ebene und in der Innenkante zu berechnen.

Außerdem konnte HTWG TMB bei Wartungsfragen unterstützen und damit zur Verschleißminimierung der Lineareinheit (LE) beitragen.

Verschiedene Ansätze zur Versteifung der vertikalen Führung der LE wurden besprochen, um die manuelle Höhenausrichtung zu optimieren.

AP5 Entwicklung und Anfertigung eines Versuchsmusters/ Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung

Mittlerweile konnten sowohl der erste als auch der zweite Prototyp (siehe **Abb. 1**) fertiggestellt werden. Dabei handelt es sich beim ersten Prototypen um einen Stufenfräser mit fünf Frässscheiben, die über einen Bosch-Winkelschleifer angetrieben werden. Ein von der Firma Contec angefertigtes Gehäuse sorgt für eine entsprechende Absaugung und schützt die Arbeitenden. Der zweite Prototyp wurde gemeinsam von HTWG und Contec entwickelt, optimiert und schließlich gebaut. Diese zweite Maschine arbeitet mit zwei Antrieben. Jeder Antrieb treibt drei Frässscheiben an, die final gegenläufig (links-rechts) in das Material eingreifen. Auch hier wurde ein spezielles Gehäuse mit Absaugung entwickelt sowie eine mechanische Schnittstelle zum Prüfstand geschaffen.

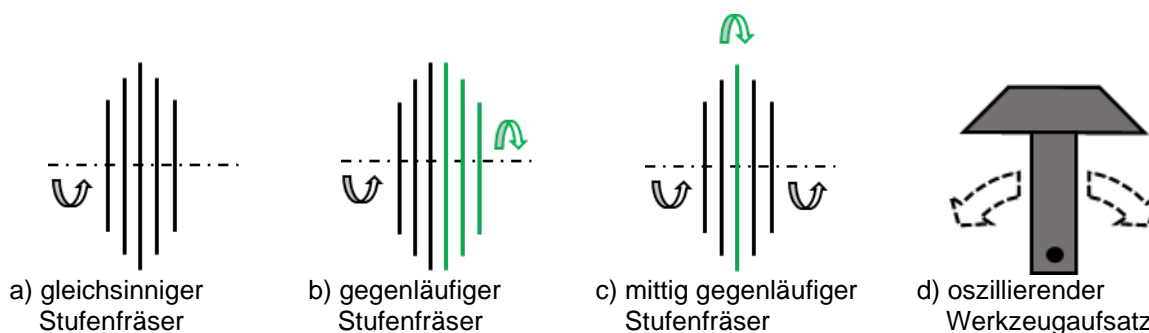


Abbildung 1: Prototypen-Konzepte

Der dritte Prototyp wurde an der HTWG entwickelt. Die hier gefundene Lösung zum gegenläufigen Antrieb der mittleren Frässscheibe gegenüber den jeweils äußeren Scheiben wurde als Patent angemeldet. Es handelt sich hierbei um ein Getriebe mit drei Planetensätzen, wobei der mittlere Planetensatz Planetenradpaare anstelle von einzelnen Planetenrädern besitzt und somit eine Drehrichtungsumkehr der mittleren Frässscheibe bewirkt. Das Getriebe wird aktuell an der HTWG gefertigt. Auch hier arbeitet die HTWG eng mit der Firma Contec zusammen. Ein Gehäuse für den dritten Prototyp wurde ebenfalls konzipiert und wird in den nächsten Wochen gefertigt.

Die vierten Prototypen sind in der finalen Entwicklungsphase an der HTWG. Hierbei sollen industriediamantbesetzte Werkzeugaufsätze geschaffen werden, die von einem Multi-Tool in Schwingung versetzt werden und somit Innenkanten und Ecken oberflächlich bearbeiten können sollen. Die Firma Contec entwickelt und fertigt gemeinsam mit der HTWG die Blechmuster, die in

Vorversuchen an der HTWG untersucht und optimiert werden. In den nächsten Wochen werden auch diese Aufsätze final angefertigt und mit Diamanten beschichtet. Anschließend können diese am TMB untersucht werden.

AP7 Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung des Versuchsmusters

HTWG unterstützt TMB bei der Versuchsdurchführung. Vor Ort werden die Schnittstellen zwischen den Prototypen und dem Prüfstand gemeinsam besprochen und mit Contec Lösungen gefunden um einen reibungslosen Testablauf gewährleisten zu können.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Bezüglich AP4: HTWG arbeitet weiterhin mit TMB an der technischen Optimierung und der Abstimmung des Prüfstands auf die Prototypen.

Bezüglich AP5: Prototyp zwei wird nach letzten Änderungen am Prüfstand das erste Mal getestet werden können. Prototyp drei ist aktuell in der Fertigung und wird in den kommenden Wochen fertiggestellt sein. Hier werden nach Fertigstellung noch Optimierungen vorgenommen und gemeinsam mit der Firma Contec eine Schnittstelle zwischen Prototyp und Prüfstand geschaffen. Aufgrund des komplexen Aufbaus des Getriebes müssen Vorversuche unter geringer Last durchgeführt werden um die Dauerfestigkeit und thermische Belastung zu überprüfen. Die vierten Prototypen werden aktuell in ihrer Geometrie optimiert. Sobald diese Betrachtungen erfolgreich abgeschlossen wurden können die Werkzeugaufsätze beschichtet und anschließend am TMB getestet werden.

Bezüglich AP7: HTWG führt weiterhin gemeinsam mit TMB vor Ort die Versuche aus und analysiert die Daten.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

08/2021 KONTEC Symposium 2021

Paper wurde bereits eingereicht; erfolgreiche Bewerbung auf eine Posterpräsentation vor Ort; Nach jetzigem Wissensstand kann der Kongress stattfinden.

09/2021 DEM in Avignon

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9416C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CONTEC – Maschinenbau & Entwicklungstechnik GmbH, Hauptstraße 146, 57518 Alsdorf	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: 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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 31.07.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 191.250,05 €
Projektleiter/-in: Johannes Greb	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: greb@contecgmbh.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen muss zur Sicherstellung der Kontaminationsfreiheit der bestehenden Gebäudestruktur eine Oberflächendekontamination aller Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen etwa 150.000 m² Betonoberflächen, die für die Freigabe bis zu einer bestimmten Tiefe gleichmäßig dekontaminiert werden müssen, bevor anschließend die Rückbauarbeiten an den 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: (01.01.20-30.04.20): Anforderung des Versuchsstandes
- AP 3: (01.03.20-31.01.21): Aufbau des Versuchsstandes
- AP 4: (01.09.20-31.07.21): Inbetriebnahme des Versuchsstandes/ der Messtechnik und Optimierung
- AP 5: (01.11.20-31.08.21): Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster/Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 6: (01.08.21-30.09.21): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme der Versuchsmuster
- AP 7: (01.05.21-31.12.21): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster
- AP 8: (01.01.22-30.04.22): Versuche vor Ort

AP 9: (01.05.22-31.07.22): Dokumentation und Evaluation

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

AP 5: Entwicklung und Anfertigung des Versuchsmusters/ Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung

Die CONTEC GmbH entwickelt und fertigt in Zusammenarbeit mit der KIT-TMB und der HTWG die Einhausung mit Absaugung, um die Einspannung der Prototypen an dem Versuchsstand zu ermöglichen und zu optimieren.

AP 7: Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster

Der Ablaufplan/ Versuchsplan und das Versuchsprotokoll wurden anfertigt und werden weiter aktualisiert. Im Rahmen einer Masterarbeit wurden Versuche zum Vergleich der Effizienz des Abtragmechanismus von verschiedenen Werkzeugen (Nadelpistole DIMU Typ 34 B, enviro Eckfräse C25, enviro Hand-Schleifmaschine ASM 125 (Contec), der erste Prototyp (Contec)) bezüglich Oberflächenrauigkeit der Probekörper durchgeführt. Die erste experimentelle Versuchsreihe mit dem ersten Prototyp (gleichläufiger Stufenfräser) und den im AP 3 hergestellten Probekörper (Betongüte C25/30) wurde angefangen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 5: Die Projektpartner HTWG, KIT-TMB und CONTEC GmbH fertigen und optimieren die Versuchsmuster und die Einhausung mit Absaugung weiter.

AP 7: Die weitere Durchführung der experimentellen Versuchsreihen und die Analyse der Versuchsergebnisse

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Geplante Veröffentlichungen:

08/2021 KONTEC Symposium 2021 (Paper (eingereicht) + Poster)

Thema: Entwicklung neuer Technologien zur Dekontamination von Kanten und Störstellen

09/2021 DEM Symposium 2021 (Paper (eingereicht) + Vortrag)

Thema: Development of a new machine for the decontamination of corners and inner edges on concrete surfaces

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9416D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: SAT Kerntechnik GmbH Vangionenstrasse 15, 67547 Worms	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Praxisversuche und Verifizierung	
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 den 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: (01.01.20-30.04.20): Anforderung des Versuchsstandes
- AP 3: (01.03.20-31.01.21): Aufbau des Versuchsstandes
- AP 4: (01.09.20-31.07.21): Inbetriebnahme des Versuchsstandes/ der Messtechnik und Optimierung
- AP 5: (01.11.20-31.08.21): Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster/Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 6: (01.08.21-30.09.21): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme der Versuchsmuster
- AP 7: (01.05.21-31.12.21): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster
- AP 8: (01.01.22-30.04.22): Versuche vor Ort

AP 9: (01.05.22-31.07.22): Dokumentation und Evaluation

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

- Abstimmungen mit der Firma Contec und der HTWG (AP5)
 - Austausch von Informationen, Dokumenten und Ideen

- Beratungsleistungen für andere Projektteilnehmer (AP2-5)
 - Unter anderem Erstellung der Gefährdungsbeurteilung für den Versuchsstand
 - Vorbereitung der Kontec (Messe in Dresden) im August 2021

- Start eines weiteren Rückbauprojektes im Kernkraftwerk Obrigheim (AP8)
 - GdF (Gebäudedekontamination und Freigabe). Abfräsen bzw. Abstemmen von Dekontanstrich, Estrich und von mineralischen Strukturen an Decken, Böden, Wänden und Unterzügen.
 - Test handelsüblicher Maschinen bezüglich Tauglichkeit für Eckendekontamination, als Benchmark für die Praxisversuche der Prototypen
 - Test „Stemmen vs. Fräsen“
 - Test Strahlverfahren „Sponge Jet“
 - Kriterien waren/sind u.a. Ergonomie, Fräsleistung, Preis, Standzeit, Tauglichkeit für Ecken
 - Austausch zwischen Projektleiter und -mitarbeitern im Büro Worms und auf den Baustellen.
 - Erkenntnisse fließen in die Testphase der Prototypen ein

- Lieferantenbesuche-/Gespräche
 - Hilti, Asup, SES, Spitznas...
 - Neuentwicklungen, neue Maschinen, neue Fräsverfahren (Benchmark für Prototypen)

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Unterstützung bei den nachfolgend aufgeführten Aktivitäten.

Fortführung der Praxisversuche (AP8) im KWO mit dem Ziel, möglichst schnell den Transfer der Prototypen vom Versuchsstand auf echte Dekont-Baustellen zu starten.

In KW34/2021 steht die Messe „Kontec“ in Dresden an.

AP 4: In Zusammenarbeit von KIT-TMB und HTWG sollen die Inbetriebnahme des Versuchsstandes/ der Messtechnik und Optimierung weitergeführt werden.

AP 5: Die Projektpartner HTWG, KIT-TMB und CONTEC GmbH fertigen und optimieren die Versuchsmuster und die Einhausung mit Absaugung weiter.

AP 6: Montage der Prototypen am Versuchsstand und Herstellung zusätzlicher Probekörper mit unterschiedlicher Betonfestigkeit

AP 7: Die weitere Durchführung der experimentellen Versuchsreihen und die Analyse der Versuchsergebnisse

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Geplante Veröffentlichungen:

08/2021 KONTEC Symposium 2021 (Paper (eingereicht) + Poster)

Thema: Entwicklung neuer Technologien zur Dekontamination von Kanten und Störstellen

09/2021 DEM Symposium 2021 (Paper (eingereicht) + Vortrag)

Thema: Development of a new machine for the decontamination of corners and inner edges on concrete surfaces

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9418A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden, Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau (LaDeco) – Teilprojekt: Ermittlung von Sekundäremissionen bei der laserbasierten Dekontamination und Praxiserprobung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 30.09.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 816.489,05 €
Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Antonio Hurtado	E-Mail-Adresse des Projektleiters: Antonio.Hurtado@tu-dresden.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Projekt LaDECO sollen umfassende Erkenntnisse zu noch offenen Fragestellungen der laserbasierten Dekontamination gewonnen werden, um damit die Kenntnisse zur Prozesssicherheit zu vertiefen und praxistaugliche Verfahren zur Prozesskontrolle zu entwickeln. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Projektarbeit liegt in der Charakterisierung der entstehenden Sekundäremissionen (Partikel und Gase). In den bisherigen Untersuchungen wurde eine intensive Partikelentstehung während der Laserabtragsprozesse beobachtet. Da diese Partikel - prozessparameterabhängig- nanoskalig und damit lungengängig sind, 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: abgeschlossen
- TUD-2: Charakterisierung der freigesetzten Partikel und Auswahl von Systemen zur Rückhaltung,
Status: in Bearbeitung
- TUD-3: Durchführung von Versuchen auf radiologisch kontaminierten Oberflächen, Status: in Bearbeitung
- TUD-4: Ausschluss der Schädigung optischer Komponenten durch radioaktive Strahlung,
Status: abgeschlossen
- TUD-9 Erstellung des Abschlussberichtes,
Status: nicht begonnen

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

TUD-2: Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen wurde mit der Bestimmung der Freisetzung von Partikeln für verschiedene Beschichtungen und für die Grundmaterialien begonnen. Dabei wurde eine Anpassung der Aerosolverdünnung notwendig, um die Konzentrationsobergrenze der Messgeräte nicht zu überschreiten. Bei den Experimenten wurde zunächst für verschiedene Beschichtungsarten die Leistung des gepulsten Lasers variiert. Ein speziell entwickelter Auswertalgorithmus ermöglicht die Charakterisierung von Partikelgrößenverteilungen masse- und anzahlbezogen, sowie die Ableitung von charakteristischen Partikeldurchmessern aus den einzelnen Verteilungen.

TUD-3: Die Vorversuche zur Ermittlung von Parametersätzen für die Bearbeitung von blanken Metallen sind abgeschlossen. Es wurde dabei unterschieden in einen Parametersatz zum Reinigen und einen zum Abtrag der Oberfläche. Im Falle riss- und porenfreier Oberflächen soll damit untersucht werden, ob eine Bearbeitung ohne Beeinflussung der Metalloberfläche durch ausschließliches Verdampfen von Ablagerungen (Kontamination) möglich ist. Die Kosten könnten so deutlich gesenkt werden.

Eine Einheit zur Aufnahme radioaktiv kontaminierter Proben mit drei nachgeschalteten, nach den Kriterien Abscheidegrad und Druckabfall ausgewählten Filtern, vollständig verschließbar auch für den Transport, wurde fertiggestellt und getestet. Damit kann nun unmittelbar mit den Untersuchungen radioaktiver Proben begonnen werden.

TUD-4: Die Untersuchungen zur Strahlenschädigung optischer Komponenten waren bereits zum Ende des letzten Berichtszeitraums abgeschlossen. Es erfolgte eine umfassende Analyse und Aufbereitung der Ergebnisse, die nun in vollständiger Berichtsform vorliegen. Dieses Arbeitspaket ist somit abgeschlossen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

TUD-1: keine

TUD-2: Nach der Ermittlung weiterer sensitiver Prozessparameter mit dem gepulsten Lasersystem, werden die Untersuchungen im Folgenden analog für den (cw) Diodenlaser durchgeführt. Neben der Charakterisierung der Partikelfreisetzung erfolgen dann auch

Untersuchungen zur chemischen Zusammensetzung der Partikel.

TUD-3: In enger Zusammenarbeit mit dem Radionuklidlabor der TU Dresden und nach vorrangig sicherheitstechnischen Abstimmungen werden in den folgenden Monaten Versuche mit radioaktiven Nukliden durchgeführt. Die fünf verschiedenen Oberflächenvarianten werden im Radionuklidlabor unmittelbar unter der Freigrenze kontaminiert, im Laserlabor gereinigt/abgetragen und zur Vermessung rücktransportiert. Aufgrund von Sicherheitsvorschriften kann dies nur mit jeweils einer Probe erfolgen. Es werden der Dekontaminationsfaktor auf der Probe und das Rückhaltevermögen der Filter bestimmt. Parallel sind die Vor-Ort-Versuche in der KTE in Vorbereitung.

TUD-4: Die Ergebnisse werden zur Präsentation auf dem 15. Internationalen Symposium im August 2021 in Dresden: „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ mit Statusbericht des BMBF „Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen“ KONTEC 2021 vorbereitet.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

-

6. Berichte und Veröffentlichungen

Vortrag:

„Vorgehen zur Bewertung der Aerosol-Freisetzung bei der Oberflächenreinigung mit verschiedenen Lasertypen“; T. Kahl, F. Lohse, M. Herrmann, A. Hurtado; Veranstaltung: Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppen Gasreinigung und Partikelmesstechnik

Datum: 18. Feb. 2021 - 19. Feb. 2021, Veranstaltungsort: Online

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 31.07.2021	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) Teilvorhaben: Untersuchungen zur thermischen Zersetzung, zum Partikeltransport und zur Lackdetektion auf Betonoberflächen	
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: in Bearbeitung)
- AP 6: Numerische Untersuchungen zur thermischen Zersetzung von Lacken und zum Partikeltransport (Status: in Bearbeitung)
- AP 7: Konzeptionierung und Entwicklung eines Detektionssystems zur Identifizierung von Lackschichten auf Betonflächen (Status: abgeschlossen)
- AP 8: Untersuchung zur Nachweisbarkeit von Lackschichten und -resten auf Betonflächen (Status: in Bearbeitung)
- AP 9: Erstellung des Abschlussberichts (Status: planmäßig noch nicht begonnen)

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

AP 5: Konstruktion, Bau und Inbetriebnahme des Versuchsstandes wurden fortgesetzt, konnten jedoch aus verschiedenen Gründen (u.a. Lieferverzögerungen, technische Schwierigkeiten bei der Inbetriebnahme von Komponenten, Lock-Down-Maßnahmen usw.) nicht abgeschlossen werden. Eine erste Messkampagne in Zusammenarbeit mit der TU Dresden wurde durchgeführt und ausgewertet. Darauf aufbauend konnten weitere Versuche für das zweite Halbjahr geplant werden.

AP 6: Die Berechnungen des instationären Strömungsfeldes im Spülbereich der Laseroptik des Betonarbeitskopfes wurden erfolgreich abgeschlossen. Das Auslassgeschwindigkeitsfeld wurde für die verschiedenen Lösungen exportiert, gemittelt und auf den Einlass des vorderen Teils des Laserkopfes aufgeprägt. Die Laserquelle wurde als gerichteter Strahler in das Modell implementiert. Neue Erkenntnisse aus den durchgeführten Messkampagnen machte eine Anpassung der Geometrie und Parameter des Modells notwendig. Dadurch ergab sich eine ungeplante Verzögerung innerhalb des Projektes.

AP 8: Die systematische Vermessung der möglichen Schichtsysteme wurde durchgeführt und vorerst abgeschlossen. Mit der Auswertung und Visualisierung der so gewonnenen Daten wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 5: Die finalen Arbeiten am Versuchsstand sowie die Inbetriebnahme sind für August 2021 geplant. Anschließend soll unverzüglich mit den Vorversuchen begonnen werden, welche als Grundlage für die weitere Versuchsplanung dienen. Eine zweite Messkampagne mit der TU Dresden wurde anberaumt und soll die in der ersten Messkampagne gewonnenen Erkenntnisse vertiefen.

AP 6: Die Ergebnisse der Simulationen zum Betonarbeitskopf sollen ausgewertet werden und mit den Ergebnissen der Messkampagnen verglichen werden. Hierbei können weitere Anpassungen des Modells notwendig werden. Für die Implementierung der Partikelströmung in das Modell werden Voruntersuchungen über die mögliche Modellierung und notwendige Parameter ausgeführt.

AP 8: Die Daten aus der systematischen Vermessung der Schichtsysteme werden ausgewertet und visualisiert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Konferenzbeiträge:

- 10th European Combustion Meeting 2021
Pestel, A.; Flößner, T.; Eckart, S.; Krause, H. (2021). Development of a methodology to investigate the thermal decomposition of paint and coatings on a laboratory scale, Konferenz-Poster (DOI: 10.13140/RG.2.2.13485.82401) und Konferenz-Paper
- DGZfP-Jahrestagung 2021

Pestel, A.; Eckart, S.; Krause, H. (2021). Entwicklung eines Echtzeit - Detektionssystems zur Identifizierung von Lack- und Farbschichten auf Betonoberflächen, Konferenz-Poster (DOI: 10.13140/RG.2.2.18823.32162)

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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: 378.228,62 €
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 Roboter-gestützte 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 im 2. Halbjahr an den AP1, AP3, sowie AP5 bis AP8 beteiligt.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP1: Anforderungen/Systemdesign

- Abschluss der Feldversuche unter Laborbedingungen zur Ermittlung der grundlegenden physikalischen Wirkparameter des UHD-Wasserstrahlwerkzeugs
- Finalisierung der Konstruktion des UHD-Strahlwerkzeugs mit gewinkelttem und für den Robotereinsatz optimiertem Antrieb, Geometrische Auslegung und Festlegung von Kamera- und Laser-Frustum und Basisabstand am Scankopf sowie die Durchführung von Optimierungsmaßnahmen am technischen Design des Prototyps
- Der zur Anwendung kommende Spanntechnik wurde für die Umgebungsbedingungen angepasst, spezifiziert und beschafft.

AP2: Autonome 3D- Erfassung

AP3: robotergestützte Entschichtung

- Durchführung von Roboter-Simulationen mit neu entwickeltem Scankopfgehäuse zur Beurteilung der Bearbeitungsmöglichkeiten für verschiedene Bauteile
- Ermittlung der Winkelbegrenzungen für die zulässigen Bewegungen der Roboterachsen zur Auslegung des UHD-wasserführenden Systems.

AP4: Steuerung, Simulation, Integration

AP5 Prototypenbau RWE

- Vergabe des Auftrags an den Systemintegrator zum Bau der Prototypanlage
- Technische Ausarbeitung für RWE01 und RWE02 für die Anschlüsse und Medienversorgung sowie der Verkabelung und Trassenführung (in CAD) sowie die Gesamt-CAD-Modellierung des Roboterstandplatzes und der Nebenräume
- Erarbeitung von Sicherungsmaßnahmen für den Robotereinsatz in Zusammenarbeit mit dem Systemintegrator
- Entwicklung einer technischen Lösung zum Einspannen von Bauteilen
- Beschaffung der elektronischen Komponenten für den Scankopf und des Wasserwerkzeugs. Beistellung für den Systemintegrator
- Ingenieurtechnische Unterstützung der Konstruktion des Roboter-Endeffektors mit integriertem UHD-Wasserstrahlwerkzeug und Scankopf sowie der mechanischen Konstruktion der Gesamtanlage für RWE01 und RWE02
- Unterstützung bei der Konzeption des Roboter-Sicherheitskreises und der elektro- und leittechnischen Auslegung für beide Prototypen und Vergabe von anlagenbautechnischen Leistungen zum Anschluss von Prototyp RWE01 an die Elektro- und Medienversorgung
- Planung vorbereitender Maßnahmen am Aufstellort der Anlage

AP6: Anlagenimplementierung

- Ausschreibung und Vergabe der anlagenbautechnischen Leistungen zur Implementierung von RWE02
- Erstellung eines maßhaltigen CAD-Modells und Planung vorbereitender Tätigkeiten für die Implementierung der Anlage
- Erarbeitung und Prüfung der Netzwerktopologie zur Anbindung des Prototyps RWE02 an die vorhandene E&L des Dekontraums sowie Erarbeitung elektrotechnischer Sicherungsmaßnahmen in elektrisch leitfähiger Umgebung
- Begutachtung und Beurteilung sowie Freigaben von anlagentechnischen Entwürfen des Systemintegrators (Gehäuse Scankopf, Sicherheit, Kollisionsschutz, E&L)
- Detaillierung des Schnittstellenplans zur Dokumentation und Darstellung der E&L-Schnittstellen zwischen Purima PLC, IPC und vorhandener Dekontraum PLC
- Entwicklung einer innovativen Lösung beim „Umspannen“ von Werkstücken in Zusammenarbeit mit IGD.

- Entwurf einer übergeordneten Bedienlogik für die Prozessführung

AP7: Evaluierung

- Entwicklung, Prüfung und Bewertung verschiedener Alternativen zur Optimierung des UHD-Wasserwerkzeugs
- Prüfung und Bewertung verschiedener Alternativen zur Datentechnischen Anbindung der Roboter PLC an die Dekont PLC sowie den IPC
- Durchführung von Simulationen des Wasserstrahlwerkzeugs in der Bearbeitungsphase an unterschiedlichen Bauteilgeometrien und Einstellung Auswertung der Roboter-Kinematik

AP:8 Projektsteuerung/Administrative Projektarbeit

- Projektcontrolling -inhaltlich/kostenseitig. Vereinbarung weiterer verbindlicher Projektziele/Meilensteine zwischen den Projektpartnern sowie Erstellung von Lasten- und Pflichtenheften und die Beauftragung von Lieferanten
- Einbindung und Koordination der Leistungen (Planung, Fertigung) und Lieferungen des Systemintegrators und Anlagenbauers
- Einbeziehung der beteiligten Fachwerkstätten am Standort Biblis, der Arbeitssicherheit und der Berufsgenossenschaft
- Fortschreibung Projektterminplan, Fortschreibung Master-Memoliste und Projektdokumentation auch für Systemintegration und Anlagenbau
- Durchführung von 11 Projektmeetings der Projektpartner (Online Meetings)
- Teilnahme an 34 Fachgesprächen mit Herstellern und Lieferanten (überwiegend Online Meetings): Lieferanten der UHD-Wasserstrahltechnik, Komponenten für den Scankopf (Kamera und Laser), AMF Spanntechnik, Systemintegrator, Anlagenbauer
- Entwurf der Begriffe und Zuordnungen der neuen Anlagenkomponenten zur Aufnahme in die AKZ-Systematik
- Berichtswesen extern für den Projektträger, intern für die Geschäftsführung
- Aufstellung und Erörterung von Möglichkeiten zur Robbe-Weiterentwicklung im Hinblick auf radiologische Vormessungen (Workshop)
- Abrechnung 1. Quartal 2021 gegenüber Projektträger

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: AP1 ist abgeschlossen.

AP3: Die numerische Ableitung der Wirkparameter mit feinerer Granulation der Stützpunkte wird während der Testphase im Nassbetrieb fortgeführt

AP5: Hier wird der Fokus auf der Werksabnahme und der Inbetriebnahme als Prototyp RWE01 sowie auf dem Beginn der Testphase am Standort Biblis liegen

AP6: Die Vorplanungen für die Anlagenimplementierung werden finalisiert und es werden vorbereitende Tätigkeiten in den betroffenen Anlagenräumen des Kontrollbereichs durchgeführt

AP7, AP8: Ermittlung von Optimierungspotenzial, Koordinierung und Controlling der Leistungen des Forschungspartners sowie des Anlagenbauers und des Systemintegrators

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine neuen Erkenntnisse

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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 AP1-AP7 beteiligt.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

(mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Anforderungen/Systemdesign

- Dieses AP wurde im letzten Jahr ausgeführt. Übriggeblieben sind kleinere Systementscheidungen, die mit der endgültigen Konfiguration der Demonstratoren zusammenhängen und in den jeweiligen APs durchgeführt werden.

AP2: Autonome 3D-Erfassung

Ziel: Erfassung eines unbekanntes teilweise glänzenden Objektes. Der Fokus lag im ersten Halbjahr auf der Verbesserung und Anpassung der Scanvorgänge am Demonstrator IGD01 mittels der gewonnenen Erkenntnisse aus den ersten Testläufen von letztem Jahr.

Schwerpunkte waren hierbei folgende Tätigkeiten:

- Vorbereitung und Optimierung des Scanprozesses für Berücksichtigung von Haltevorrichtungen.
- Verbesserung der Kalibrierung und Punktwolkenqualität durch parametrische Kalibrierung für die Anwendung morphologischer Filter.
- Bessere Filterfunktionen um Ausreißer zu Detektieren und entfernen.
- Neben der Verbesserung des Scans liegt hier auch der Motivation darin, die Anzahl der Scans zu reduzieren und mit weniger Bewegung des Roboters auszukommen.

AP3: robotergestützte Entschichtung

Ziel: Reinigung auf Basis von direkt auf Punktwolken erfolgreicher Pfadplanung. Der Fokus im 1. Halbjahr lag in der Umplanung des Reinigungsprozesses und Bahnplanung auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse vom IGD01-Demonstrator und der sich immer weiter herauskristallisierenden Technischen Gegebenheiten am RWE01-Demonstrator.

Schwerpunkte waren hierbei folgende Tätigkeiten:

- Vorbereitung zur Bahnplanung mittels Voxel- und Höhenfeldern für implizite Selbstkollisionsberücksichtigung, da am IGD01 letztes Jahr die Kollisionsvermeidung nur sehr rudimentär vorhanden war und mit diesen Verfahren eine genauere Verarbeitung möglich ist. Zudem erlauben diese Verfahren auch komplexere Bahnen, da Selbstverdeckungen implizit über das Höhenfeld vermieden werden.
- Vorbereitung zur automatischen Segmentierung des Scans in zu reinigende und nicht zu reinigende (Haltevorrichtung, bereits gereinigte) Geometriebereiche. Speziell die Notwendigkeit, Haltevorrichtungen für das Verspannen der zu reinigenden Teile nicht nur zu verwenden, sondern diese auch von der Reinigung auszuschließen ist eine Herausforderung. Hierzu ist angedacht deren Positionierung über ihre speziellen Charakteristiken in der Punktwolke zu finden und ausgehend hiervon als zusammenhängenden Teil als nicht zu reinigen markieren. Hierdurch sind sie als Kollisionsobjekt in der Planung berücksichtigt, werden aber nicht gereinigt.

AP4: Steuerung, Simulation, Integration

Ziel: Entwicklung einer virtuellen Reinigung zur Bahnoptimierung.

Der Schwerpunkt im ersten Halbjahr 2020 lag hier in der Planung und Anpassung an die Gesamtprozessabläufe der verschiedenen Reinigungsmöglichkeiten und diverser hierfür notwendigen Anpassungen:

- Planung und erste Tests der Unifikation der Hardwareschnittstellen zwischen IGD1 & RWE01. Ziele sind hierbei kontinuierliche, überwachte Bewegungen, Vereinfachung der Komponententests beim Systemintegrator und die Frühzeitige Erkennung von Problemen der einzelnen Subkomponenten bereits an IGD01.
- Detailplanung der drei Betreibmodi des Gesamtsystems (Reinigen, Nachreinigen und Reinigen nach Umspannen). Hierbei sind Nachreinigen und Umspannen zwei zusätzliche Modi, die ein Nachbearbeiten des bereits gereinigten Objektes erlauben. Umspannen ist hierbei ein Spezialfall, da hier bereits Bereiche gereinigt worden sind und nicht nochmal bearbeitet werden sollen.
- Verwendung Adaptiver Voxel- und Höhenfelder, um den unterschiedlichen Parametern für die Reinigung gerecht zu werden, die unter anderem winkelabhängig sind. Hierdurch können Kandidatenbahnen besser an den tatsächlichen Pfadablauf angepasst werden.
- Diese Felder helfen auch bei der Kollisionsauflösung, da man die Störgeometrie des Werkzeuges als morphologisches Filter auf diese anwenden kann.
- Beginn der Einplanung von eingeschränkten Bewegungsabläufen, die durch physikalische Limitierung unter Anderem der Versorgungsschläuche am Roboter bedingt werden.
- Die Teile aus AP3 und AP4 bilden hierbei weiterhin ein System bestehend aus Planung und Simulation, die in mehreren Durchläufen optimiert werden kann.

AP5: Prototypenbau RWE

Das erste Halbjahr 2021 stand ganz im Zeichen der Entwicklung und Planung des RWE01 Demonstrators beim Maschinenbauer.

Die Arbeiten am IGD waren hierzu ähnlich zum vorherigen Halbjahr:

- Beiträge zur Konzeptentwicklung für die Aufstellung und den Betrieb von RWE01 / RWE02 außerhalb des Kontrollbereichs, basierend auf dem Design des Laborprototypen und dessen Anpassungen speziell im Hinblick
- Analyse der erforderlichen Schnittstellen für Prototyp II um eine einheitliche Steuer- und Kontrollschnittstelle für beide Prototypen in AP2 und AP3 zu entwickeln und die damit verbundenen Projektrisiken zu minimieren.
- Planung, Festlegung und Optimierung der Komponenten für den kombinierten Scan- und Entschichtungskopf für RWE01

AP6: Anlagenimplementierung

Nur in Bezug auf die Planung der späteren Implementierbarkeit von RWE02.

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) wurde fortgeführt. Die Ergebnisse hieraus wurden soweit möglich wieder zurück zum Prototyp übertragen, um Designentscheidungen früh testen zu können.

AP8: Projektsteuerung/Administrative Projektarbeit

- Von RWE durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Der nächste Große Meilenstein ist der Abnahme/Funktionstest der Rohform von RWE01 beim Auftragsfertiger. Die wichtigste notwendige Komponente für AP2 und AP3 ist hier die gemeinsame Schnittstelle für beide Prototypen, die sich gerade in den finalen Zügen der Entwicklung befindet. Neben einem Schnittstellentest, werden hier auch erste Rohscans durchgeführt, um den Gesamtprozess schon simulieren zu können, ohne diesen physikalisch ausführen zu müssen.

Des Weiteren werden weiterhin die im Demonstrator gewonnenen Erkenntnisse in AP2, AP3 und AP4 verarbeitet um den Scan, die Reinigung und den Simulationsprozess zu verfeinern.

Erkennung der Verspannung als störende Geometrien ist weiter ein großes Thema, da es unterschiedliche Festhaltetechniken gibt, die verschiedener Erkennungsmethoden bedürfen. Ein vielversprechender Kandidat hierfür der Vergleich gegen bekannte Geometrie, da die Verspannungstechniken nicht beliebig platziert sein können.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine neuen gegenüber letztem Bericht.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Eine Veröffentlichung zur den Forschungsarbeiten im Projektkontext ist geplant und in Arbeit, zum aktuellen Zeitpunkt aber strategisch noch nicht sinnvoll.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9425A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung Teilprojekt: Parametervalidierung zum Tiefenschnitt von hochbewehrtem Stahlbeton und Erprobung eines neuartigen Anbaugeräts zur Rissüberfräsung kontaminierter Wandstrukturen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2020 bis 31.10.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 825.374,50 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing Sascha Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Projekts „MAARISS“ ist die Fortführung der Forschungs- und Entwicklungsarbeit aus den Projekten „INAS“ (Abtrags- und Trenntechnologien in einer Verfahrenskombination aus Hinterschneid- und Frästechnologie) und „DefAhS“ (Trennverfahren von hochbewehrtem Stahlbeton mittels Kombinationswerkzeug aus Wendeschneidplatten und Schlaglamellen) hin zu einem Demonstrator für den Einsatz in einer kerntechnischen Anlage. Mit der Entwicklung einer hybriden Frästrommel und dem erfolgreichen Abtrag von hochbewehrtem Stahlbeton wurden im Forschungsprojekt „DefAhS“ deutlich die Verfahrensweise und die Machbarkeit aufgezeigt.

Im Verbundprojekt „Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung“ („MAARISS“) kooperiert das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) als Forschungseinrichtung mit den Industriepartnern Herrenknecht AG und Kraftanlagen Heidelberg GmbH. Die bereits patentierte Frästrommel soll von ihren aktuellen Dimensionen in eine kompaktere und leichtere Bauweise überführt werden. Ebenfalls soll die Absaugung direkt an der Abtragseinheit erforscht und überarbeitet werden, welches für den finalen Einsatz in einer kerntechnischen Anlage entscheidend ist. Vor Ort sollen Risse in Stahlbetonstrukturen automatisiert überfräst werden, um eine anschließende Freimessung durch das Personal zu ermöglichen. Die körperlich sehr anstrengende Arbeit der Rissfreilegung soll so auf nur einen Bediener in einer sicheren Umgebung reduziert werden. Es soll komplett auf den Aufbau eines Gerüsts verzichtet und auf schon vorhandene Transporttechnik (Stapler oder Hubsteiger) zurückgegriffen werden. Somit wird keine weitere Technik außer der Fräseinheit als Anbaugerät für die Transporttechnik benötigt. Außerdem sollen nachgelagerte, schon vorhandene Saugaggregate verwendet werden. Der definierte Abtrag von Stahlbeton stellt insbesondere beim Rückbau von nuklearen Anlagen einen zentralen Punkt dar. Durch eine selektive Entnahme von kontaminiertem Material kann der überwiegende und unbelastete Anteil der Gesamtmasse wieder dem normalen Recyclingkreislauf zugeführt werden. Ein Problem besteht aktuell beim lokal begrenzten Tiefenabtrag von Stahlbetonen, z.B. bei Rissen oder Ausbrüchen, so dass die entstehenden Oberflächen im Anschluss freimessbar sind. Die entwickelte, hybride Frästrommel, welche durch den phasenweisen Einsatz von Schlaglamellen (Betonabtrag) und Wendeschneidplatten (Stahlabtrag) hochbewehrten Stahlbeton ohne Werkzeugwechsel effizient abtragen kann, stellt einen innovativen und vielversprechenden Ansatz zur Lösung dieser Problematik dar.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Arbeitspaket 0:	Beratung und Kontaktaufnahme zu Experten aus dem Bereich der Kerntechnik
Arbeitspaket 1:	Analyse des Stands der Technik
Arbeitspaket 2:	Schnittprozessanalyse und -verbesserung
Arbeitspaket 3:	Absaugungskonzept für den Materialabtransport
Arbeitspaket 4:	Neuentwicklung eines hochmobilen Anbaugeräts (Abtragseinheit mit Adapterstück)
Arbeitspaket 5:	Datenerfassung / Integration von Datenanalysen
Arbeitspaket 6:	Umsetzung und Integration des neuen Anbaugeräts (Abtragseinheit mit Adapterstück)
Arbeitspaket 7:	Vor-Ort-Tests

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

Von November 2020 bis Februar 2021 wurde im Rahmen des AP1 das Lastenheft für MAARISS erstellt, federführend durch das Karlsruher Institut für Technologie. Insbesondere in der finalen Phase haben die beiden anderen Projektpartner unterstützt. Die Abstimmungen zum AP 1 fanden aufgrund der aktuellen Covid-19-Pandemie ausschließlich im digitalen Rahmen in mehreren Videokonferenzen statt.

Ziel des Arbeitspaketes war einerseits den Stand der Technik bezüglich Abtragstechnologien für Stahlbetonstrukturen zu aktualisieren. Hierbei arbeiteten insbesondere die Kraftanlagen Heidelberg GmbH zu. Weiterhin wurde ein Anforderungsprofil für das zu entwickelnde, mobile Abtragsystem erstellt. Für den Entwurf des mobilen Anbaugeräts mit den anzustrebenden Eigenschaften arbeitete insbesondere die Herrenknecht AG zu. Somit sind die Zielparameter definiert und unter allen Partnern abgestimmt, im Laufe des Jahres und unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus AP2 und AP3 können jedoch noch Anpassungen vorgenommen werden.

Im Rahmen des AP 2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ wurde der „DefAhS“-Demonstrator am KIT erfolgreich in Betrieb genommen. In diesem Zuge wurde bereits eine längere Versuchsreihe durchgeführt, in welcher die oberste Bewehrungslage entfernt sowie tiefere Erkenntnisse zur Vorschubgeschwindigkeit gewonnen werden konnten. Parallel dazu wurde an einem zweiten Versuchsstand am KIT ein neues Konzept mit schrägen Achsen an der Außenseite konstruiert und im kleineren Maßstab auf der Vorrichtung einer Contec-Bodenfräse getestet. Diese Versuchsreihen befinden sich momentan in der Schlussphase und Auswertung.

Kürzlich wurde am DefAhS-Versuchsstand die nächste Versuchsreihe zum Trennscheibenkonzept gestartet.

Aufgrund des um zwei Monate verschobenen AP2 wurde auch der Beginn des AP3 um einen Monat verschoben, da diese beiden Arbeitspakete korrelieren. Im AP 3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ wurden bereits die Rahmenbedingung der Maschine ermittelt und sowie deren mögliche Arbeitspositionen zusammengefasst. Aktuell ist die Simulation zum benötigten Absaugvolumen in Bearbeitung.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Rahmen des AP 2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ sollen im Zuge vielseitiger Versuchsreihen die Ergebnisse des Vorgängerprojekts weiter untersucht und optimiert werden, um eine breite Datengrundlage für die Auslegung der „MAARISS“-Komponenten zu schaffen. Hier fließen auch die Erkenntnisse aus den Ergebnissen beim Contec-Versuchsstand ein.

Im AP 3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ soll im kommenden Halbjahr das Strömungsmodell finalisiert und ein Absaugungskonzept erstellt und getestet werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Folgeprojekt des Forschungsprojekts „Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen“ (DefAHS)

6. Berichte und Veröffentlichungen

Auf der KONTEC, die dieses Jahr vom 25.08-27.08.2021 in Dresden stattfindet, wird ein Postervortrag zur Entwicklung des „Mobilen Anbaugeräts zur automatisierten Rissüberfräsung“ gehalten und ein dazugehöriges Paper veröffentlicht.

Vom 10. bis 12. November 2021 lädt das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung erstmals zu einem Forschungssymposium ein. In diesem Rahmen soll das Projekt MAARISS vorgestellt sowie ein Abstract publiziert werden. Das Abstract wurde bereits eingereicht, weitere Bestätigungen oder Planungen stehen noch aus.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9425B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Herrenknecht AG	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung Teilprojekt: Konzeptionierung eines hochflexiblen Anbaugerätes als Prüfstand zur experimentellen Untersuchung für die Rissüberfräsung kontaminierter Wandstrukturen sowie Neukonzeptionierung eines Absaugsystems für den Materialabtransport	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2020 bis 31.10.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 433.937,82 €
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Gerhard Wehrmeyer	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: wehrmeyer.gerhard@herrenknecht.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Projekts „MAARISS“ ist die Fortführung der Forschungs- und Entwicklungsarbeit aus den Projekten „INAS“ (Abtrags- und Trenntechnologien in einer Verfahrenskombination aus Hinterschneid- und Frästechnologie) und „DefAhS“ (Trennverfahren von hochbewehrtem Stahlbeton mittels Kombinationswerkzeug aus Wendeschneidplatten und Schlaglamellen) hin zu einem Demonstrator für den Einsatz in einer kerntechnischen Anlage. Mit der Entwicklung einer hybriden Frästrommel und dem erfolgreichen Abtrag von hochbewehrtem Stahlbeton wurden im Forschungsprojekt „DefAhS“ deutlich die Verfahrensweise und die Machbarkeit aufgezeigt.

Im Verbundprojekt „Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung“ („MAARISS“) kooperiert die Herrenknecht AG mit den Projektpartnern Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Kraftanlagen Heidelberg GmbH. Die bereits patentierte Frästrommel soll von ihren aktuellen Dimensionen in eine kompaktere und leichtere Bauweise überführt werden. Ebenfalls soll die Absaugung direkt an der Abtragseinheit erforscht und überarbeitet werden, welches für den finalen Einsatz in einer kerntechnischen Anlage entscheidend ist. Vor Ort sollen Risse in Stahlbetonstrukturen automatisiert überfräst werden, um eine anschließende Freimessung durch das Personal zu ermöglichen. Die körperlich sehr anstrengende Arbeit der Rissfreilegung soll so auf nur einen Bediener in einer sicheren Umgebung reduziert werden. Es soll auf den Aufbau eines Gerüsts verzichtet und auf schon vorhandene Transporttechnik (Stapler oder Hubsteiger) zurückgegriffen werden. Somit wird keine weitere Technik außer der Fräseinheit als Anbaugerät für die Transporttechnik benötigt. Außerdem sollen nachgelagerte, schon vorhandene Saugaggregate verwendet werden.

Der definierte Abtrag von Stahlbeton stellt insbesondere beim Rückbau von nuklearen Anlagen einen zentralen Punkt dar. Durch eine selektive Entnahme von kontaminiertem Material kann der überwiegende und unbelastete Anteil der Gesamtmasse wieder dem normalen Recyclingkreislauf zugeführt werden. Ein Problem besteht aktuell beim lokal begrenzten Tiefenabtrag von Stahlbetonen, z.B. bei Rissen oder Ausbrüchen, so dass die entstehenden Oberflächen im Anschluss freimessbar sind. Die entwickelte, hybride Frästrommel, welche durch den phasenweisen Einsatz von Schlaglamellen (Betonabtrag) und Wendeschneidplatten (Stahlabtrag) hochbewehrten Stahlbeton ohne Werkzeugwechsel effizient abtragen kann, stellt einen innovativen und vielversprechenden Ansatz zur Lösung dieser Problematik dar.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Arbeitspaket 0:	Beratung und Kontaktaufnahme zu Experten aus dem Bereich der Kerntechnik
Arbeitspaket 1:	Analyse des Stands der Technik
Arbeitspaket 2:	Schnittprozessanalyse und -verbesserung
Arbeitspaket 3:	Absaugungskonzept für den Materialabtransport
Arbeitspaket 4:	Neuentwicklung eines hochmobilen Anbaugeräts (Abtragseinheit mit Adapterstück)
Arbeitspaket 5:	Datenerfassung / Integration von Datenanalysen
Arbeitspaket 6:	Umsetzung und Integration des neuen Anbaugeräts (Abtragseinheit mit Adapterstück)
Arbeitspaket 7:	Vor-Ort-Tests

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

Von November 2020 bis Februar 2021 wurde im Rahmen des AP1 das Lastenheft für MAARISS erstellt, federführend durch das Karlsruher Institut für Technologie. Insbesondere in der finalen Phase haben die beiden anderen Projektpartner unterstützt. Die Abstimmungen zum AP1 fanden aufgrund aktueller Covid-19-Pandemie ausschließlich im digitalen Rahmen in mehreren Videokonferenzen statt.

Ziel des Arbeitspaketes war den Stand der Technik bezüglich Abtragstechnologien für Stahlbetonstrukturen zu aktualisieren. Hierbei arbeitete insbesondere die Kraftanlagen Heidelberg GmbH zu. Weiterhin wurde ein Anforderungsprofil für das zu entwickelnde, mobile Abtragsystem erstellt. Für den Entwurf des mobilen Anbaugeräts mit den anzustrebenden Eigenschaften arbeitete insbesondere die Herrenknecht AG zu. Somit sind die Zielparameter definiert und unter allen Partnern abgestimmt, im Laufe des Jahres und unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus AP2 und AP3 besteht noch die Möglichkeit, dass Anpassungen vorgenommen werden.

Im Rahmen des AP2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ wurde der „DefAhS“-Demonstrator am KIT erfolgreich in Betrieb genommen. In diesem Zuge wurde bereits eine längere Versuchsreihe durchgeführt, in welcher die oberste Bewehrungslage entfernt sowie tiefergehende Erkenntnisse zur Vorschubgeschwindigkeit gewonnen werden konnten. Parallel zu den Untersuchungen am DefAhS Demonstrator wurden durch die Herrenknecht AG zwei neue Konzepte im Hinblick auf die Verbesserung des hybriden Abbauprozesses erarbeitet. Der Schwerpunkt liegt hierbei in der Optimierung des Betonabtrages vorwiegend im Randbereich.

Dazu wurden bereits erste Vorversuche an einem zweiten Versuchsstand (auf Basis einer Contec-Bodenfräse) am KIT durchgeführt. Die Herrenknecht AG konstruierte und fertigte hierzu eine Werkzeugvorrichtung mit Schrägachsen, um erste Tests im kleineren Maßstab zu realisieren. Diese Versuchsreihen befinden sich momentan in der Schlussphase und Auswertung.

Darüber hinaus wurden erste Versuche mit einem weiteren Schnittkonzept (Trennscheiben) direkt am DefAhS Demonstrator durchgeführt. Hierzu wurde die bestehende Konstruktion der Werkzeughalter durch die Herrenknecht AG angepasst, um diese mit Trennscheiben zu bestücken. Erste Prototypenteile wurden bei einem Hersteller für Trennscheiben beschafft. Die

Herrenknecht AG unterstützt das KIT bei der Ausführung und Auswertung der noch aktuell noch ausstehenden und geplanten Versuchsreihen an beiden Versuchsständen.

Im Rahmen des AP4 „Neuentwicklung eines hochmobilen Anbaugeräts“ wurden erste Konzepte für die Bereiche Antrieb, Linearführung und das Befestigungssystem erarbeitet. Hierbei wurden insbesondere für die Weiterentwicklung des Antriebs eine intensive Recherche durchgeführt und daraus insgesamt acht Lösungsansätze erarbeitet und weiterverfolgt. Bei der anschließenden konzeptionellen Vorentwicklung und deren Bewertung haben sich drei potenzielle Konzepte herauskristallisiert. Nach weiterer Detailierung konnte aus den drei ausgewählten Konzepten ein favorisiertes Konzept durch eine abschließende ausführliche Bewertung definiert werden, welches gezielt weiterentwickelt wird.

Gemäß den Vorgaben im Lastenheft wurden zudem zwei Konzeptentwürfe für ein neues Linearführungssystem entwickelt. Dabei wurde eine Recherche und Bewertung der am Markt verfügbaren Standardkomponenten durchgeführt. Anschließend wurde ein erster Konzeptentwurf in Abstimmung mit potenziellen Lieferanten von Linearführungssystemen zur Konzipierung und Dimensionierung der jeweiligen Komponenten entwickelt.

In diesem Zusammenhang wurde auch die Befestigung des Anbaugerätes für die jeweilige Einsatzsituation (an der Wand, Decke und am Boden) gezielt untersucht. Nach intensiver Recherche und erster Ausarbeitung von verschiedenen Lösungsansätzen unter Beachtung der lokalen Anforderungen wurde nach Rücksprache mit den weiteren Projektpartnern die weitere Bearbeitung des plausibelsten Konzeptentwurfs definiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Rahmen des AP2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ werden die im Zuge der durchgeführten und noch geplanten Versuchsreihen zur gezielten Weiterentwicklung des Abbauprozesses gewonnen Ergebnisse und Erkenntnisse gegenübergestellt und bewertet. Auf dieser Grundlage werden die optimalen Schnittprozessparameter sowie die Ausführung der jeweiligen Werkzeuge auf der Frästrommel final definiert.

Das KIT wird von Seiten der Herrenknecht AG kontinuierlich in der Ausführung und Auswertung der Versuche weitreichend unterstützt.

Im AP3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ soll im kommenden Halbjahr das Strömungsmodell finalisiert und ein Absaugungskonzept erstellt und getestet werden. Die Herrenknecht AG fungiert einerseits als Inputgeber für die Anforderungen und fachliche Unterstützung des KIT sowie andererseits bezüglich der Nutzung der Erkenntnisse dieses Arbeitspaketes zur konstruktiven Umsetzung in AP4.

Im Rahmen des AP4 „Neuentwicklung eines hochmobilen Anbaugeräts“ werden die bis dato ausgearbeiteten Konzepte für den Antrieb, die Linearführung sowie das Befestigungssystem weiter im Detail ausgearbeitet und zu einem Gesamtkonzept kombiniert. Der Schwerpunkt liegt hierbei im Wesentlichen in der Konzeptionierung und Dimensionierung der einzelnen Systemkomponenten.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Folgeprojekt des Forschungsprojekts „Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen“ (DefAhS)

6. Berichte und Veröffentlichungen

Auf der KONTEC, die dieses Jahr vom 25.08-27.08.2021 in Dresden stattfindet, wird ein Poster zur Entwicklung des „Mobilen Anbaugeräts zur automatisierten Rissüberfräsung“ präsentiert und ein dazugehöriges Paper veröffentlicht.

Vom 10. bis 12. November 2021 lädt das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung erstmals zu einem Forschungssymposium ein. In diesem Rahmen soll das Projekt MAARISS vorgestellt sowie ein Abstract publiziert werden. Das Abstract wurde bereits eingereicht, weitere Bestätigungen oder Planungen stehen noch aus.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9425C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Kraftanlagen Heidelberg GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung Teilprojekt: Fachkundige Planungs- und Projektberatung zu den Anforderungen an ein mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung und deren Umsetzung sowie Vernetzung mit Experten aus dem Bereich der Kerntechnik	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2020 bis 31.10.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 70.869,12 €
Projektleiter/-in: Jonas Braun	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: jonas.braun@kraftanlagen.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Projekts „MAARISS“ ist die Fortführung der Forschungs- und Entwicklungsarbeit aus den Projekten „INAS“ (Abtrags- und Trenntechnologien in einer Verfahrenskombination aus Hinterschneid- und Frästechnologie) und „DefAhS“ (Trennverfahren von hochbewehrtem Stahlbeton mittels Kombinationswerkzeug aus Wendeschneidplatten und Schlaglamellen) hin zu einem Demonstrator für den Einsatz in einer kerntechnischen Anlage. Mit der Entwicklung einer hybriden Frästrommel und dem erfolgreichen Abtrag von hochbewehrtem Stahlbeton wurden im Forschungsprojekt „DefAhS“ deutlich die Verfahrensweise und die Machbarkeit aufgezeigt.

Im Verbundprojekt „Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung“ („MAARISS“) kooperiert das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) als Forschungseinrichtung mit den Industriepartnern Herrenknecht AG und Kraftanlagen Heidelberg GmbH. Die bereits patentierte Frästrommel soll von ihren aktuellen Dimensionen in eine kompaktere und leichtere Bauweise überführt werden. Ebenfalls soll die Absaugung direkt an der Abtragseinheit erforscht und überarbeitet werden, welches für den finalen Einsatz in einer kerntechnischen Anlage entscheidend ist. Vor Ort sollen Risse in Stahlbetonstrukturen automatisiert überfräst werden, um eine anschließende Freimessung durch das Personal zu ermöglichen. Die körperlich sehr anstrengende Arbeit der Rissfreilegung soll so auf nur einen Bediener in einer sicheren Umgebung reduziert werden. Es soll komplett auf den Aufbau eines Gerüsts verzichtet und auf schon vorhandene Transporttechnik (Stapler oder Hubsteiger) zurückgegriffen werden. Somit wird keine weitere Technik außer der Fräseinheit als Anbaugerät für die Transporttechnik benötigt. Außerdem sollen nachgelagerte, schon vorhandene Saugaggregate verwendet werden.

Der definierte Abtrag von Stahlbeton stellt insbesondere beim Rückbau von nuklearen Anlagen einen zentralen Punkt dar. Durch eine selektive Entnahme von kontaminiertem Material kann der überwiegende und unbelastete Anteil der Gesamtmasse wieder dem normalen Recyclingkreislauf zugeführt werden. Ein Problem besteht aktuell beim lokal begrenzten Tiefenabtrag von Stahlbetonen, z.B. bei Rissen oder Ausbrüchen, so dass die entstehenden Oberflächen im Anschluss freimessbar sind.

Die entwickelte, hybride Frästrommel, welche durch den phasenweisen Einsatz von Schlaglamellen (Betonabtrag) und Wendeschneidplatten (Stahlabtrag) hochbewehrten

Stahlbeton ohne Werkzeugwechsel effizient abtragen kann, stellt einen innovativen und vielversprechenden Ansatz zur Lösung dieser Problematik dar.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Arbeitspaket 0:	Beratung und Kontaktaufnahme zu Experten aus dem Bereich der Kerntechnik
Arbeitspaket 1:	Analyse des Stands der Technik
Arbeitspaket 2:	Schnittprozessanalyse und -verbesserung
Arbeitspaket 3:	Absaugungskonzept für den Materialabtransport
Arbeitspaket 4:	Neuentwicklung eines hochmobilen Anbaugeräts (Abtragseinheit mit Adapterstück)
Arbeitspaket 5:	Datenerfassung / Integration von Datenanalysen
Arbeitspaket 6:	Umsetzung und Integration des neuen Anbaugeräts (Abtragseinheit mit Adapterstück)
Arbeitspaket 7:	Vor-Ort-Tests

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

Das Verbundprojekt MAARISS wurde am 19.10.2020 zum 01.11.2020 bewilligt.

Im Anschluss an die internen Organisationsphasen wurde Mitte November 2020 ein Kick-off Meeting aller Projektpartner durchgeführt, aufgrund der aktuellen Covid-19-Pandemie im digitalen Rahmen. Neben dem generellen Projektablauf und der damit verbundenen erneuten Abstimmung des Rahmenzeitplans wurden erste weiterführende Projektaufgaben der Partner koordiniert. Im Fokus stand dabei das Arbeitspaket 1 (Erarbeitung des Lastenheftes), das die Basis für alle weiteren Arbeitspakete darstellt.

Das Arbeitspaket 1 wurde tiefgehend strukturiert und terminlich abgestimmt. Federführend wird das AP 1 durch das Karlsruher Institut für Technologie bearbeitet, welches durch die beiden anderen Projektpartner in diesem Arbeitspaket unterstützt wird. Ziel des Arbeitspaketes ist einerseits den Stand der Technik bezüglich Abtragstechnologien für Stahlbetonstrukturen zu aktualisieren. Für den Entwurf des mobilen Anbaugeräts mit den anzustrebenden Eigenschaften arbeitet insbesondere die Herrenknecht AG zu. Diese Informationen werden in einem Lastenheft zusammengefasst.

Im Berichtszeitraum hat Kraftanlagen Heidelberg hauptsächlich beim Aktualisieren bezüglich Abtrags Technologien für Stahlbetonstrukturen dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) zugearbeitet. Des Weiteren unterstützt Kraftanlagen Heidelberg beim Entwurf des mobilen Anbaugerätes. Hierzu wurde auf Gegebenheiten und Rahmenbedingungen in kerntechnischen Anlagen hinsichtlich Baustrukturen zurückgegriffen, welche im Rahmen von „DefAhS“ aufwändig erfasst wurden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Rahmen des AP 2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ sollen im Zuge vielseitiger Versuchsreihen die Ergebnisse des Vorgängerprojekts weiter untersucht und optimiert werden, um eine breite Datengrundlage für die Auslegung der „MAARISS“-Komponenten zu schaffen. Hier fließen auch die Erkenntnisse aus den Ergebnissen beim Contec-Versuchsstand ein.

Im AP 3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ soll im kommenden Halbjahr das Strömungsmodell finalisiert und ein Absaugungskonzept erstellt und getestet werden.

Kraftanlagen Heidelberg wird dabei die Arbeiten der Projektpartner unterstützen und diese hinsichtlich der kerntechnischen Randbedingungen, Vorgaben etc. beraten.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Folgeprojekt des Forschungsprojekts „Definierter Abtrag hochbewehrter Stahlbetonstrukturen“ (DefAHS)

6. Berichte und Veröffentlichungen

Auf der KONTEC, die dieses Jahr vom 25.08-27.08.2021 in Dresden stattfindet, wird ein Postervortrag zur Entwicklung des „Mobilen Anbaugeräts zur automatisierten Rissüberfräsung“ gehalten und ein dazugehöriges Paper veröffentlicht.

Vom 10. bis 12. November 2021 lädt das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung erstmals zu einem Forschungssymposium ein. In diesem Rahmen soll das Projekt MAARISS vorgestellt sowie ein Abstract publiziert werden. Der Abstract wurde bereits eingereicht, weitere Bestätigungen oder Planungen stehen noch aus.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9431A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hellma Materials GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, Teilprojekt Gerätebau und -entwicklung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 534.371,87 €
Projektleiter/-in: Dr. Sibylle Petrak	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Sibylle.Petrak@hellma.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Gesamtziel des Projektes ist die Entwicklung und Umsetzung eines neuartigen Messverfahrens für die Bewertung des radiologischen Zustands von Gebäuden und kerntechnischen Anlagenteilen im Rahmen der radiologischen Erkundung zur Rückbauplanung und Erfolgskontrolle, der Lenkung/Optimierung einzelner Rückbauschritte sowie der schnellen Erkundung im Rahmen der Gefahrenabwehr (Störfallvorsorge). Durch im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren aufwandsärmer gewonnene Informationen über Art und Höhe der Radionuklide lassen sich radiologische Daten einfacher und umfangreicher gewinnen, mit denen der Rückbau dosis- und kostenoptimiert geplant werden kann. Das Teilprojekt Gerätebau und -entwicklung hat zum Ziel, einen Prototypen eines kollimationsfreien, richtungsaufgelösten In-situ Gammaspektrometers in zwei Ausführungsmodellen herzustellen. Der Prototyp soll einerseits die Zusammensetzung der Kontamination (das Radionuklidgemisch) und die Höhe der Kontamination feststellen und andererseits die räumliche Verteilung mit einem bildgebenden Verfahren bestimmen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1 Planung und Entwurf

- 1.1 Entwicklung Anforderungs- und Messkonzept (6/2021-11/2021)
- 1.2 Experimente mit Strahlungsdetektoren (7/2021-11/2021)
- 1.3 Spezifizierung 3D-Laserscanner (7/2021-11/2021)
- 1.4 Grob-Spezifizierung für 2 Geräte inkl. Kostenvoranschlag (8/2021-11/2021)

AP 2 Simulation, Modellierung

- 2.2 Aufbereitung der Messdaten aus 1.2 (12/2021-3/2022)

AP 3 Aufbau Messsysteme

- 3.1 Vollständige Spezifizierung für 2 Geräte (12/2021-1/2022)
- 3.2 Gerätefertigung (1/2022-7/2022)
- 3.3 Einrichtung Messplatz inkl. Strahlenschutzzulassung (12/2021-7/2022)
- 3.4 Inbetriebnahme der Elektronik, Kontrollmessungen (2/2022-7/2022)
- 3.5 Softwareinstallation Gammaspektrometrie (3/2022-8/2022)
- 3.6 Softwareprogrammierung LabView (4/2022-11/2022)
- 3.7 Aufbau und Inbetriebnahme 3D-Laserscanner (5/2022-9/2022)

3.8 Systemintegration (7/2022-11/2022)

AP 4 Labormessungen, Versuchsreihen

4.1 Messungen bei Hellma (10/2022-4/2023)

4.5 Datenfusionierung mit Laserscanner Pointcloud (2/2023-8/2023)

4.6 Datenvisualisierung (5/2023-8/2023)

AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen

5.1 Langzeittests bei Hellma (Temperaturstabilität) (7/2023-2/2024)

5.3 Optimierung System, Messprozeduren, Software (9/2023-2/2024)

AP 6 Workshop & Dokumentation

6.1 Wissenschaftliche Bewertung & Dokumentation (1/2024-5/2024)

6.3 Planung, Durchführung, Auswertung Workshop (12/2023-4/2024)

6.4 Abschlussbericht (3/2024-5/2024)

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

Mit Arbeitsprogramm Punkt 1.1 wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Arbeiten zu den Programmpunkten 1.2, 1.3 und 1.4 sollen zügig aufgenommen werden. Das Kickoff-Meeting wird am 22.7. als ganztägige Videokonferenz stattfinden. Die Tagesordnung für das Kickoff-Meeting ist allen Projektpartnern bekannt. Das Meeting dient u.a. dazu, dass die geplanten Arbeiten im Arbeitspaket 1 unter den Projektpartnern abgestimmt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9431B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Friedrich -Alexander -Universität Erlangen -Nürnberg	
Vorhabenbezeichnung: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, Teilprojekt Bildrekonstruktionsverfahren	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 321.192,00 €
Projektleiter/-in: Prof. Martin Burger	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Martin.burger@fau.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Gesamtziel des Projektes ist die Entwicklung und Umsetzung eines neuartigen Messverfahrens für die Bewertung des radiologischen Zustands von Gebäuden und kerntechnischen Anlagenteilen im Rahmen der radiologischen Erkundung zur Rückbauplanung und Erfolgskontrolle, der Lenkung/Optimierung einzelner Rückbauschritte sowie der schnellen Erkundung im Rahmen der Gefahrenabwehr (Störfallvorsorge). Durch im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren aufwandsärmer gewonnene Informationen über Art und Höhe der Radionuklide lassen sich radiologische Daten einfacher und umfangreicher gewinnen, mit denen der Rückbau dosis- und kostenoptimiert geplant werden kann. Zur Bestimmung der räumlichen Verteilung der Kontamination sind neuartige Algorithmen der Signalverarbeitung erforderlich, die im Teilprojekt Bildrekonstruktionsverfahren von der Arbeitsgruppe von Prof. Martin Burger an der Friedrich-Alexander-Universität (FAU) entwickelt werden.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 2 Simulation, Modellierung

- a. Konzeptionierung verschiedener Imaging Techniken (6/2021-11/2021)
- 2.6 Modell- und Algorithmenentwicklung (8/2021-9/2022)

AP 3 Aufbau Messsysteme

- 3.6. Softwareprogrammierung Bildrekonstruktion (3/2022-11/2022)

AP 4 Labormessungen, Versuchsreihen

- 4.4. Fertigstellung der Bildrekonstruktions-Software (9/2022-7/2023)
- 4.5 Datenfusionierung mit Laserscanner Pointcloud (2/2023-8/2023)

AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen

- 5.3 Optimierung System, Messprozeduren, Software (8/23-2/24)

AP 6 Workshop & Dokumentation

- 6.1 wissenschaftliche Bewertung & Dokumentation (1/2024-5/2024)
- 6.3. Planung, Durchführung, Auswertung Workshop (12/2023-5/2024)
- 6.4. Abschlussbericht (2/2024-5/2024)

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

Mit Arbeitsprogramm Punkt 2.1 wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Arbeitsprogramm Punkt 2.1 soll zügig abgeschlossen werden, dazu soll mit Arbeitsprogramm Punkt 2.6, der die meiste Zeit im Jahr 2021 einnimmt, begonnen werden. Startpunkt dazu ist das Kickoff-Meeting am 22.7., bei dem auch Details zum Datenaustausch fixiert werden können.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.06.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9431C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hochschule Zittau/Görlitz	
Vorhabenbezeichnung: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, Teilprojekt C - Experimentelle Untersuchungen und Simulation	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 413.046,00 € (inkl. PP)
Projektleiter/-in: Prof. Thomas Schönmath	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: T.Schoenmuth@hszg.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Gesamtziel des Projektes ist die Entwicklung und Umsetzung eines neuartigen Messverfahrens für die Bewertung des radiologischen Zustands von Gebäuden und kerntechnischen Anlagenteilen im Rahmen der radiologischen Erkundung zur Rückbauplanung und Erfolgskontrolle, der Lenkung/Optimierung einzelner Rückbauschritte sowie der schnellen Erkundung im Rahmen der Gefahrenabwehr (Störfallvorsorge). Durch im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren aufwandsärmer gewonnene Informationen über Art und Höhe der Radionuklide lassen sich radiologische Daten einfacher und umfangreicher gewinnen, mit denen der Rückbau dosis- und kostenoptimiert geplant werden kann.

Im Teilprojekt C werden von der Hochschule Zittau/Görlitz experimentelle Untersuchungen und eine Simulation zu den SPCC Demonstratoren durchgeführt. Die Simulation mit dem Programm FLUKA unterstützt die Planungs- und Entwurfsphase der SPCC Demonstratoren. Die HSZG stellt Versuchsmatrizen für die geplanten Messungen auf, die anschließend im Labor Strahlentechnik der HSZG durchgeführt und ausgewertet werden. Außerdem unterstützt die HSZG den Projektpartner Hellma bei der Auswahl, dem Aufbau und der Inbetriebnahme eines für kerntechnische Anlagen geeigneten 3D Laserscanners.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1 Planung und Entwurf

1.5 Entwicklung Anforderungs- und Messkonzept (6/2021-11/2021)

1.3 Spezifizierung 3D-Laserscanner (7/2021-11/2021)

1.5 Planung AP 4 und AP 5 (8/2021-11/2021)

AP 2 Simulation, Modellierung

2.3 Festlegung Nuklidvektoren (8/2021-3/2022)

2.4 FLUKA Detektor-Simulation (6/2021-7/2022)

2.5 Untersuchung der Simulationsdaten (9/2021-7/2022)

AP 3 Aufbau Messsysteme

3.7 Aufbau und Inbetriebnahme 3D-Laserscanner (5/2022-9/2022)

3.8 Systemintegration (7/2022-11/2022)

AP 4 Labormessungen, Versuchsreihen

4.2 Aufstellung von Versuchsmatrizen HSZG (10/2022-11/2022)

4.3 Durchführung und Auswertung Versuchsreihen HSZG (12/2022-8/2023)

AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen

5.2 Unterstützung der Validierungsmessungen am VKTA (7/2023-2/2024)

5.3 Optimierung System, Messprozeduren, Software (9/2023-2/2024)

AP 6 Workshop & Dokumentation

6.1 Wissenschaftliche Bewertung & Dokumentation (1/2024-5/2024)

6.3 Planung, Durchführung, Auswertung Workshop (12/2023-4/2024)

6.4 Abschlussbericht (3/2024-5/2024)

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

Mit den Arbeitsprogrammpunkten (AP) 1.1 / 2.4 wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP 1.1, 1.3 und 1.5 sollen im zweiten Halbjahr abgeschlossen werden.

Die Untersuchungen zu AP 2.3 und 2.5 werden begonnen. Startpunkt dazu ist das Kickoff-Meeting am 22.7., bei dem auch Details zum Datenaustausch fixiert wurden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9431D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.v., D-01328 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, Teilprojekt: Qualifizierung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 237.501,88 €
Projektleiter/-in: Dr. Henry Lösch	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Henry.Loesch@vkta.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Gesamtziel des Projektes ist die Entwicklung und Umsetzung eines neuartigen Messverfahrens für die Bewertung des radiologischen Zustands von Gebäuden und kerntechnischen Anlagenteilen im Rahmen der radiologischen Erkundung zur Rückbauplanung und Erfolgskontrolle, der Lenkung/Optimierung einzelner Rückbauschritte sowie der schnellen Erkundung im Rahmen der Gefahrenabwehr (Störfallvorsorge). Durch im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren aufwandsärmer gewonnene Informationen über Art und Höhe der Radionuklide lassen sich radiologische Daten einfacher und umfangreicher gewinnen, mit denen der Rückbau dosis- und kostenoptimiert geplant werden kann. Der VKTA hat hier bereits tiefgründige Erfahrungen bei dem Rückbau des Rossendorfer Forschungsreaktor bis zur grünen Wiese sammeln können. Im Projekt ist der VKTA vorrangig für die Gegenüberstellung von konventionellen Messmethoden mit der zu entwickelnden Methode beteiligt.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1 Planung und Entwurf

1.6 Entwicklung Anforderungs- und Messkonzept (6/2021-11/2021)

1.5 Planung AP 4 und AP 5 (8/2021-11/2021)

AP 2 Simulation, Modellierung

2.5 Festlegung Nuklidvektoren (8/2021-3/2022)

AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen

5.2 Validierungsmessungen am VKTA (7/2023-2/2024)

5.3 Optimierung System, Messprozeduren, Software (9/2023-2/2024)

5.4 Gegenüberstellung mit rückbauerprobten Verfahren (9/2023-2/2024)

AP 6 Workshop & Dokumentation

6.1 Wissenschaftliche Bewertung & Dokumentation (1/2024-5/2024)

6.2 Qualifizierung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen (1/2024-5/2024)

6.3 Planung, Durchführung, Auswertung Workshop (12/2023-4/2024)

6.4 Abschlussbericht (3/2024-5/2024)

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

Mit Arbeitsprogramm Punkt 1.1 wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Nach dem Kick-Off-Meeting am 22.07.2021 soll mit den Arbeiten an AP 1.5 und 2.3 begonnen werden. Die weiteren notwendigen Eckpunkte sollen während des Meetings definiert werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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 Arbeitsprogrammpunkten)

Es wurden im Rahmen der Validierungsphase Aufgaben der Arbeitspakete AP10 (Experimentelle Validierung mit verschiedenen Matrizes) und AP13 (Experimentelle Validierung mit radioaktiven Abfällen) durchgeführt. Insbesondere bei der Planung bzw. Vorbereitung der erstmaligen Messung von radioaktiven Abfallfässern im Strahlenschutzbauwerk von der Firma AINT wurden folgende Arbeiten erledigt:

- Erstellung eines technischen Berichtes zur „Handhabung der radioaktiven Fässer im Technikum von AINT“
- Untersuchung und Erstellung des Dokumentes „Annahmebedingungen radioaktiver Abfallfässer im Technikum der Firma AINT GmbH für die Messanlage QUANTOM“.
- Erstellung diverser Gefährdungsbeurteilungen (z. B. für die Bedienung der Messanlage QUANTOM und für die Handhabung der radioaktiven Fässer).
- Durchführung der ersten Messkampagne mit radioaktiven Abfallfässern
- Programmierung eines Tools, um die Hubhöhen der Messanlage automatisch zu berechnen.

Diverse Verbesserungen im Bereich der Steuerungssoftware und der Automatisierungstechnik wurden durchgeführt. Die Bedienungsanleitung der Messanlage wurde finalisiert. Zudem wurden Arbeiten im Bereich der Auswertung durchgeführt (Benchmark deterministische Rechnungen mit dem Framatome Solver, Review des MCNP Modells, Durchführung MCNP Rechnung).

Die Arbeiten für die Erstellung einer Arbeitsanweisung zum Thema „Messung mit der Messanlage QUANTOM“ wurden gestartet. In Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern wurden die Ergebnisse der ersten Auswertungen der Validierungskampagne analysiert und diskutiert, wie das Modell der Auswertung angepasst werden muss.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Im Juli-August 2021 werden BUGS Fixierungen bzw. Verbesserungen im Bereich der Automatisierungstechnik weiter durchgeführt. Die Arbeitsanweisung zum Thema „Messung mit der Messanlage QUANTOM“ kann weiter fortgeführt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Coquard et al.: **„Zerstörungsfreie stoffliche Beschreibung und Plausibilitätsprüfung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM®“**, KONTEC, Dresden, 2021.

Coquard et al.: **“QUANTOM - Non-destructive material characterization of radioactive waste”**, ICOND, Aachen, 2021.

Coquard et al.: **“Non-destructive material characterization of radioactive waste packages with QUANTOM®”**, IAEA, Conference “International Conference on Radioactive Waste Management: Solutions for a Sustainable Future”, 2021.

Havenith et al.: **„Stoffliche Beschreibung und Plausibilitätsprüfung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM“**, Fachverband für Strahlenschutz, Jahrestagung 2021, Aachen, 2021.

Online Veröffentlichung:

<https://www.framatome.com/solutions-portfolio/portfolio/product?product=A1688>

L. Coquard, A. Havenith, et al.: **Non-destructive Material Characterization of Radioactive Waste Packages with QUANTOM®**, ICOND, Digital, 24-26.11.2020.

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

Internationale Pressemitteilung von Framatome:

<http://www.framatome.com/EN/businessnews-1456/framatome-entwickelt-mobile-technologie-zur-zerstrungsfreien-analyse-von-radioaktiven-abflfen.html>, 18.12.2018.

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

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

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

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

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

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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: 613.962 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 kann die Messanlage in einen Stahlblechcontainer integriert werden oder wird in einer Konditionierungsstätte aufgebaut. 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® (AP1) abgeschlossen. Der Aufbau und die Inbetriebnahme der Messanlage im Technikum von AiNT (AP9) wurde inkl. der Integration des Krans im 2. HJ 2020 abgeschlossen. Am 26.10.2020 hat der Sachverständige im Auftrag der atomrechtlichen Aufsichts- und Genehmigungsbehörde die Messanlage bzgl. dem baulichen und operativen Strahlenschutz geprüft und erfolgreich abgenommen. Da die Genehmigung für die Inbetriebnahme der stationären Messanlage gemäß § 12 StrlSchG (AP4) bereits seit Juni 2019 vorliegt, konnte nach der erfolgreichen Sachverständigenprüfung sofort der Testbetrieb beginnen. Arbeitspaket AP4 ist somit bis auf die regelmäßige Korrespondenz mit der Behörde und die Überwachung der Genehmigungsaufgaben abgeschlossen.

Im Berichtszeitraum war der Fokus auf den F&E-Tätigkeiten in den Arbeitspaketen: AP5, AP10, AP12, AP13 und AP14. Innerhalb von AP10 und AP13 wurden die experimentell erhobenen Messdaten (PGNAA-Spektren) der Messungen mit nicht-radioaktiven Referenzmaterialien und den realen radioaktiven Abfallfässern händisch ausgewertet. Die Spektrenauswertung war die Grundlage für die Auswertung entsprechend dem in AP6 hergeleiteten Modell der Auswertung. Für die Quantifizierung der Elementmassen wurden alle Parameter der Messungen berechnet. Diese Parameter ergeben sich aus der Berechnung der elementabhängigen partiellen Wirkungsquerschnitte und der Gamma- sowie Neutronentransportmodellierung. Die Berechnung des absoluten Neutronenflusses und der Neutronenspektren erfolgte im Berichtszeitraum für die Testmessungen der Referenzmaterialien mit MCNP, weil SPARC noch nicht weit genug entwickelt und in die Software zur Auswertung (PEAK) integriert war. Die Berechnungen der Photopeak-Effizienzen erfolgte mit dem seitens AiNT entwickelten Code TRACER, welcher in die Auswertesoftware PEAK im Berichtszeitraum integriert wurde (AP5). TRACER wurde weiterentwickelt, sodass auch die Photopeak-Effizienzen von einzelnen Sektoren sowie Radialsektoren im Fass berechnet werden können. Die Ergebnisse der Auswertungen wurden mit den Referenzanalysen vom Department of Nuclear Analysis and Radiography, Centre for Energy Research am Forschungsreaktor in Budapest sowie mit denen der AiNT-Messanlage [ZEBRA](#) verglichen. Die Gegenüberstellung zeigte noch Abweichungen, weswegen das Modell der Auswertung bzgl. der Orts- und Energiediskretisierung verfeinert wurde und mehrere Fehler in der Programmierung bzgl. der Berechnung der partiellen Wirkungsquerschnitte erkannt und behoben wurden. Die im Projekt entwickelte Neutronentransportmodellierung (SPARC) basiert auf einer SP_N -Diffusionsapproximation und einem Finite-Elemente-Programm zur Lösung der partiellen Differentialgleichungen. Der Solver für das Differentialgleichungssystem wurde anhand verschiedener Testfälle verifiziert. Hierbei wurde im Berichtszeitraum die Komplexität der Testfälle kontinuierlich erhöht und am Ende die gleiche Komplexität, wie in den MCNP-Modellen erzielt. Die Ergebnisse der MCNP-Simulationen zur Berechnung der Neutronenspektren wurden mit SPARC verglichen und zeigen eine gute Übereinstimmung.

Ein weiterer Schwerpunkt der Software- und Methodenentwicklung (AP5 & AP6) lag im Berichtszeitraum bei der automatischen Peakauswertung in der Auswertesoftware PEAK. Die automatische Peakauswertung beinhaltet die Aufgaben des automatischen Fittens, Entfaltens und Identifizierens von Prompt-Gamma-Peaks im Spektrum. Diese Aufgabe ist überaus

anspruchsvoll, weil in den experimentell erhobenen Spektren bis zu 700 Peaks enthalten sind. Innerhalb von AP12 erfolgte eine absolute Kalibrierung der He-3-Detektoren und der U-238-Spaltkammer mittels der neutronischen Aktivierung von Metallfolien. Das Konzept der probabilistischen Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalyse wurde im Berichtszeitraum in die PEAK-Software integriert und getestet (AP14). Die probabilistische Berechnung der Gesamtunsicherheit einer Messung sowie die Messung der charakteristischen Größen der DIN ISO 11929 ist erfolgreich getestet, wobei einzelne Unsicherheitsbeiträge noch nicht hinreichend genau abgebildet werden.

4. Geplante Weiterarbeit

In Q2 2021 werden die Arbeitspakete AP5, AP10, AP12, A13 und AP14 bearbeitet. Die absolute Kalibrierung der He-3-Detektoren und der U-238-Spaltkammer muss teilweise wiederholt werden, weil die Abweichungen bei der Validierung mit den Referenzmaterialien auch auf eine Abweichung bei den Kalibrierkonstanten zurückzuführen sind. Durch einen neuen Versuchsaufbau ohne Fass in der Messkammer wird die Herleitung der Kalibrierkonstanten verifiziert und ggf. angepasst. Die Entwicklungsarbeiten im Bereich der Softwareentwicklung für den Neutronentransportcode (SPARC) werden fortgesetzt, wobei die abschließenden Arbeiten die Schnittstellenanbindung zur Auswertesoftware PEAK und die abschließenden Tests betreffen. Innerhalb von AP5 wird der Schwerpunkt auf die iterative Kopplung der einzelnen Softwaremodule und deren Erprobung an experimentellen Messdaten gelegt. Insbesondere wird begonnen zu testen, was passiert, wenn mit stark abweichenden initialen Elementzusammensetzungen bei dem Auswerteverfahren begonnen wird. Im laufenden Testbetrieb wird die Steuerungssoftware weiter getestet und bedarfsgerecht weiterentwickelt. Auf Grundlage der erhobenen Messdaten der nicht radioaktiven Referenzmaterialien und der Messung von echten radioaktiven Abfallfässern wird weiter an der Software zur Automatisierung der Peak-Auswertung gearbeitet.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Dr. Laurent Coquard, Dr. Andreas Havenith, et al.: **Zerstörungsfreie stoffliche Beschreibung und Plausibilitätsprüfung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM®**, KONTEC 2021, Dresden, 25. - 27. August 2021.
- Dr. L. Coquard, Dr. A. Havenith, et al.: **Non-destructive Material Characterization of Radioactive Waste Packages with QUANTOM®**, ICOND, Digital, 24-26.11.2020.
- 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.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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 werden oder wird in einer Konditionierungsstätte aufgebaut. Dies ermöglicht den Einsatz der Messanlage direkt dort, wo die Altabfälle gelagert oder konditioniert werden. Durch die raum aufgelöste stoffliche Analyse von 200-l-Fässern können im Endlagerungsverfahren KONRAD getätigte stoffliche Beschreibungen von Abfallprodukten verifiziert und einfach ergänzt werden, wodurch die Nachqualifizierung von Altabfällen erleichtert wird und die Kosten für die nukleare Entsorgung reduziert werden. Anhand der Möglichkeit Abfallfässer mittels QUANTOM® zerstörungsfrei und ohne Neuverpackung zu analysieren wird die Strahlenexposition des Betriebspersonals im Vergleich zu einer zerstörenden Prüfung stark vermindert und eine Vergrößerung des Abfallvolumens vermieden. Der Tätigkeitsschwerpunkt von Framatome liegt in der konstruktiven Entwicklung und dem Bau und Betrieb der Messanlage. Die Zielstellung von AiNT liegt auf der Erforschung und Entwicklung von neuen Methoden und Softwarelösungen für die PGNAA von großvolumigen Proben. Der Projektfokus von FINT liegt in der Messung des Neutronenflusses und des Neutronenspektrums innerhalb und außerhalb der Messanlage.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

Im Berichtszeitraum wurde seitens FINT in den Arbeitspaketen AP8, AP12 und AP13 gearbeitet. Die Messanlage QUANTOM® wurde im Technikum von AiNT komplett aufgebaut und in Betrieb genommen. Auch die Neutronendetektoren wurden in der Gesamtanlage in Betrieb genommen (AP12). Die Messungen von nicht-radioaktiven Referenzfässern wurden durchgeführt. Die vom FINT im Fraunhofer-Institut vorbereiteten Messungen des Neutronenflusses und des Neutronenspektrums außerhalb der Anlage (AP8) wurden nicht durchgeführt, da sich im Projektverlauf ergab, dass zur präzisen Auswertung der Neutronendetektoren trotz der geringen Größe und des geringen Gasdrucks der Zählrohre eine Totzeitkorrektur der Zählraten erforderlich ist. In Abänderung des ursprünglichen Plans wurde daher statt der Messung von Neutronenfluss und -spektrum außerhalb der Anlage die Totzeitkorrektur der Neutronenzählraten entwickelt, da diese für die Anlage QUANTOM® wichtiger ist. Das Neutronenspektrum außerhalb der Anlage konnte per Simulation bereits gut genug bestimmt werden. An der experimentellen Validierung von Referenzfässern wurde beratend mitgearbeitet (AP13).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im zweiten Halbjahr 2021 bis zum Projektende wird das Arbeitspakete AP13 weiterbearbeitet und die Totzeitkorrektur der Zählraten der Neutronenzählrohre implementiert. Der Testbetrieb der stationären Messanlage QUANTOM® wird fortgesetzt und bei der Kalibrierung mit Referenzfässern wird mitgewirkt (AP13).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Dr. Laurent Coquard, Dr. Andreas Havenith, et al.: **Zerstörungsfreie stoffliche Beschreibung und Plausibilitätsprüfung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM®**, KONTEC 2021, Dresden, 25. - 27. August 2021.

Dr. L. Coquard, Dr. A. Havenith, et al.: **Non-destructive Material Characterization of Radioactive Waste Packages with QUANTOM®**, ICOND, Digital, 24. - 26.11.2020

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.

Produktfilm QUANTOM®, Framatome, 2020: <https://www.framatome.com/solutions-portfolio/portfolio/product?product=A1688>

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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: 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: 1.219.438,39 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Chem. H.–J. Friedrich	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hans-juergen.friedrich@ikts.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

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

- AP1: Die Aktivitäten zu AP 1 erfolgten gemäß Bearbeitungsfortschritt. Das vierte Verbundtreffen wurde für Juli 2021 avisiert und entsprechend vorbereitet.
- AP2: Die Arbeiten zu AP 2 sind bis auf wenige Restarbeiten abgeschlossen.
- AP3: Die Untersuchungen zur elektrochemischen Dekontamination von Reaktorgraphit aus dem Segment 3 der thermischen Säule des RFR wurden fortgesetzt. Eine Versuchsanlage mit einer speziell konstruierten Elektrolysezelle zur Aufnahme 10 cm x 10 cm großer Graphitsegmente wurde gefertigt und die Aufnahme/Kontaktierung für den Graphit optimiert. Dekontaminationsversuche wurden mit schwefel- und salpetersauren Elektrolyten durchgeführt. In den bisherigen Versuchen konnten bis zu 60% des Eu-152 und bis zu 20% des C-14 aus der Graphitmatrix entfernt werden.
- AP4: Das Arbeitspaket wird durch den Verbundpartner TU-Bergakademie Freiberg, Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, bearbeitet.
- AP5: Mit der fertig gestellten Membrandiffusionsanlage wurden einer Reihe von Versuchsreihen zur Trennung von Gasgemischen im Zuge der Auswahl und Charakterisierung potentiell geeigneter Membranen durchgeführt. Ein Trenneffekt ließ sich bislang für Gemische aus N₂/O₂ nachweisen. Für eine wirkungsvolle Trennung von C-Isotopen am Beispiel von CO₂ ist der beobachtete Trenneffekt bislang noch zu gering. Die Arbeiten zur Trennung der C-Isotope mittels Thermodiffusion wurden weitergeführt. Die Versuchsdurchführung ist abgeschlossen, die Auswertung lag bei Redaktionsschluss wegen eines Defekts am Massenspektrometer noch nicht vor. Die Untersuchungen zur An-/Abreicherung von C-Isotopen mittels elektrochemischer Prozesse wurden weitergeführt und bzgl. Gegenstromelektrolyse die Experimente zur Aufklärung der Abhängigkeit des Trenneffektes von Stromdichte, Trennrohlänge und von der chemischen Bindungsform des Kohlenstoffs fortgesetzt. Die bisher ermittelten Trennfaktoren liegen im Bereich von 1,02 und sind damit relativ niedrig. Allerdings trifft dies auf den energetischen und technischen Aufwand der Trennung ebenfalls zu. Gleichfalls fortgesetzt wurden die Untersuchungen zur Ausnutzung des kinetischen Isotopeneffekts bei elektrochemischen Elektrodenreaktionen. In Versuchsreihen mit Methanol als Substrat konnte die systematische Verschiebung des Isotopenverhältnisses C-12/C-13 mit dem Reaktionsfortschritt bei der anodischen Oxidation gebildeten CO₂ nachgewiesen werden. Es wurde ein Trennfaktor von bislang 1,065 (C-12/C-13) ermittelt. Dies würde eine Trennung mit überschaubarer Trennstufenzahl ermöglichen. Mit den Untersuchungen zum kinetischen Isotopeneffekt bei der Reduktion von CO₂ wurde begonnen.
- AP6: Eine Bearbeitung war im Berichtszeitraum nicht vorgesehen.
- AP7: Zu diesem AP wurden im Berichtszeitraum keine Arbeiten durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- AP1: Das nächste Verbundmeeting ist für den 22.07.2021 geplant als Präsenzmeeting geplant.
- AP2: Das AP wird planmäßig weiter bearbeitet, soweit erforderlich.
- AP3: Mit Reaktorgraphit aus dem Segment 3 des RFR werden weitere 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 Isotopenanreicherung werden mit C-14 fortgesetzt.

AP6: Die Bearbeitung ist erst zu einem späteren Zeitpunkt 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

Ergebnisse wurden im Zuge des RCA-workshops von VKTA und Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf im Juni 2021 vorgestellt. Für die KONTEC 2021 wurde ein Vortrag als Plenarvortrag angenommen.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9407B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Bergakademie Freiberg	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit -Teilprojekt B: Entwicklung und Erprobung von Verfahrensansätzen zur Vergasung von Reaktorgraphit für die optimale Abtrennung radioaktiver Kontaminationen	
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 substanzielle 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 radioaktivem 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 auf AP 320 (Untersuchung des Konversionsverhaltens) und AP 330 (Identifikation geeigneter Konversionsprozesse) sowie auf AP 340 (Entwicklung der Prozesskette für die Vergasung).

AP 320 Untersuchung des Konversionsverhaltens

- Der Schwerpunkt der labortechnischen Untersuchungen lag im Berichtszeitraum auf der Konversion des Reaktorgraphits mit molekularem Sauerstoff zu CO₂. Zur Ermittlung der Oxidationskinetik wurden thermogravimetrische Versuche bei Variation des Partialdruckes (0,2, 0,5, 0,8 bar) und der Temperatur im Temperaturbereich von 500 bis 950 °C in Temperaturschritten von 50 °C untersucht. Erwartungsgemäß erhöht sich die Umsatzgeschwindigkeit mit zunehmender Temperatur und mit der Partialdruckerhöhung.
- Ausgehend von einem Potenzansatz für die Geschwindigkeitsgleichung wurden auf der Basis der Experimente die kinetischen Parameter Reaktionsordnung, präexponentialer Faktor und Aktivierungsenergie ermittelt. Es zeigte sich, dass der gewählte Temperaturbereich insbesondere das porediffusionskontrollierte Regime abdeckt. Das filmdiffusionskontrollierte Regime beginnt ab ca. 900 °C. Die Grenztemperatur zum chemisch kontrollierten Regime liegt bei einem Sauerstoffpartialdruck von 0,5 bar und 0,8 bar bei ca. 550 °C und verschiebt sich bei niedrigeren Partialdrücken zu ca. 600 °C. Temperaturen unterhalb von 500 °C sind im Falle des Reaktorgraphits experimentell kaum erfassbar, weil bereits bei 500 °C und einem Sauerstoffpartialdruck von 0,2 bar nach 92 h Versuchszeit lediglich ein Kohlenstoffumsatz von 8 Ma.-% erreicht werden konnte.
- Für die Reaktionsordnung der Reaktorgraphitoxidation wurde für den chemisch kontrollierten Bereich ein Wert von $0,90 \pm 0,01$ für alle Temperaturen und Umsätze bestimmt.
- Die Ermittlung der Aktivierungsenergie und des präexponentiellen Faktors erfolgte entsprechend Arrhenius-Ansatz unter Berücksichtigung des gesamten o.g. Parameterbereichs. Die Aktivierungsenergie für die Oxidationsreaktion im chemisch kontrollierten Regime beträgt bei einem Umsatz von 30 Ma.-% ca. 288,2 kJ/mol und unterscheidet sich bei allen gewählten Partialdrücken um weniger als 1 %. Diese relative Konstanz der Aktivierungsenergie bei steigendem Sauerstoffpartialdruck weist darauf hin, dass sich der Mechanismus der Graphitoxidation im gewählten Parameterbereich nicht verändert.
- Für den präexponentiellen Faktor wurde bei einer Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks von 0,2 bar auf 0,5 bar ein Anstieg im chemisch kontrollierten Regime von $0,75 \times 10^{13}$ auf $2,0 \times 10^{13}$ 1/s und im porediffusionskontrollierten Regime von $2,3 \times 10^6$ auf $4,5 \times 10^6$ 1/s bei einem Umsatz von 30 Ma.-% ermittelt. Ein ähnlicher Anstieg ergibt sich auch bei Umsätzen von 50 Ma.-% und 70 Ma.-%. Bei einer Erhöhung des Partialdrucks von 0,5 bar auf 0,8 bar wird weder eine signifikante Änderung des präexponentiellen Faktors noch der Reaktionsgeschwindigkeit beobachtet, was durch die Konstanz des Reaktivitätsindex R im chemisch kontrollierten Regime bestätigt wird. D.h. mindestens ab einem Partialdruck von 0,5 bar ist Sauerstoff im Verhältnis zu den aktiven Zentren auf der Graphitoberfläche im Überschuss vorhanden.

AP 330 und AP 340:

- Neben den im letzten Zwischenbericht vorgestellten Vergasungskonzepten ist die direkte Oxidation des Reaktorgraphits mit technischem Sauerstoff betrachtet worden. Der Vorteil eines solchen Konzeptes besteht darin, dass ein nahezu trockenes Einkomponentengas entsteht, so dass die Gasaufbereitung vereinfacht werden kann. Bei Bedarf kann CO₂ als Temperaturmoderierungsgas zurückgeführt werden. Ein weiterer Vorteil von

Oxidationreaktionen ist die Erreichbarkeit hoher Umsatzgeschwindigkeiten bereits bei niedrigen Temperaturen.

- Auf dieser Basis wurde eine Prozesskette zur Überführung des Reaktorgraphits in die Gasphase entworfen. Zu den Hauptkomponenten der Prozesskette gehören folgende Prozessstufen: Zerkleinerung des Reaktorgraphits, Sauerstoffbereitstellung, Konversionsreaktor mit Schlacke-/Ascheausschleusung, ggf. CO₂-Rezirkulation, Gaskühlung und -reinigung. Die konkrete Gaskonditionierung wird entsprechend den Anforderungen der nachfolgenden Isotopenanreicherung angepasst.
- Für den Konversionsprozess wurde ein thermodynamisches Modell auf der Basis der Software ASPEN Plus erstellt. Da für die Isotopenanreicherung eine möglichst homogene Gaszusammensetzung gefordert wird, sollten neben CO₂ möglichst wenige andere Komponenten im Produktgas enthalten sein. Im Ergebnis der Berechnung wurde ermittelt, dass ein maximaler Gehalt an CO₂ von 94,58 Vol.-% bei einer Stöchiometriezahl von 1 erreicht wird.

4. Geplante Weiterarbeit

Die geplanten Weiterarbeiten betreffen die Weiterführung des AP 320 und AP 330 sowie des AP 340. Die nächsten Schritte umfassen im Detail:

- Weiterführung der reaktionskinetischen Untersuchungen hinsichtlich der Vergasung mit Wasserstoff, dem Vergleich mit anderen Graphitqualitäten und dem Korngrößeneinfluss,
- Weiterentwicklung eines geeigneten Vergasungsverfahrens auf der Basis der experimentell ermittelten Prozessparameter,
- Weiterentwicklung thermodynamischer Modelle für die Vergasung 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: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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 31.08.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 187.025,17 €
Projektleiter/-in: Matthias Dewald	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: matthias.dewald@grs.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

Im folgenden Balkenterminplan sind die Einzelnen Arbeitspakete in ihrer zeitlichen Abfolge und Zuordnung dargestellt. Gegenüber dem bisherigen Balkenterminplan aus der Antragsphase haben sich durch pandemiebedingt ausgefallene Messzeiten Verzögerungen ergeben. Daher wurde der Meilenstein Ende des 1. Quartals 2021 nicht wie geplant erreicht. Da außerdem ein unerwarteter Mitarbeiterwechsel stattfand, wurde eine kostenneutrale Verlängerung beantragt und genehmigt, sodass sich die Bearbeitung der Arbeitspakete 5 bis 10 bis ins dritte Quartal 2022 erstreckt (gestrichelte Bereiche).

	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

Im Berichtszeitraum wurden Arbeiten zur Betrachtung und Bewertung möglicher Entsorgungspfade im nationalen und internationalen Umfeld fortgesetzt. Die Ergebnisse der Recherche zu grundlegenden Eigenschaften und der Wechselwirkung des Graphits mit typischen Strahlungsfeldern sowie die Charakterisierung und die Entsorgungsproblematik werden fortlaufend dokumentiert, sodass sie als Teil des Abschlussberichtes genutzt werden können. Im Zuge des Vorhabens aufkommende Fragestellungen werden laufend bearbeitet und nachgepflegt.

Des Weiteren wurde mit der Vorbereitung eines Beitrages für die KONTEC 2021 begonnen. Das laufende Vorhaben soll dort als Plenarvortrag präsentiert werden.

AP 7: Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen

Graphitproben von den kerntechnischen Versuchs- und Prototypanlagen am Standort Karlsruhe KIT Campus Nord konnten im Berichtszeitraum gemessen werden. Arbeiten zur Auswertung laufen (siehe AP 8).

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

Im Berichtszeitraum wurde die Einschätzung von Messergebnissen definiert bestrahlter Graphitproben fortgesetzt. Es wurde diskutiert, wie beobachtete Inhomogenitäten zustande kommen und künftig behoben werden können. Es wurden mehrere parallele Ansätze verfolgt, die nach Vorliegen weiterer Messergebnisse erfolgreich waren. Zum Ende des Berichtszeitraumes lagen neue Messergebnisse verschiedener Proben vor, teils definiert bestrahltes Material, teils Material aus Reaktoren. Diese Messergebnisse werden derzeit analysiert.

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 Reisemittel in das Jahr 2021 wurde beantragt und genehmigt. Die Veranstaltung wird im November 2021 als Online-Konferenz stattfinden.

AP 9: Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse

Im Berichtszeitraum haben keine Arbeiten zu diesem Arbeitspaket stattgefunden.

AP 10: Verbundkoordination und Projektmanagement

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

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

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

Ein Schwerpunkt wird im kommenden Halbjahr auf der Bewertung der derzeit vom Verbundpartner Uni Köln erzeugten Messwerte liegen. Auf dieser Basis können dann die zentralen Fragestellungen des Vorhabens bearbeitet werden (AP 7 und 8).

Diese Daten dienen auch als Basis für Arbeiten im AP 6 und AP 8, die entsprechend nachgezogen werden.

Die Ergebnisse der Arbeiten, die im Rahmen der AP 6 bis 8 erarbeitet werden, sollen weiterhin kontinuierlich in AP 9 für die spätere Veröffentlichung als Teil des Abschlussberichtes vorbereitet werden. Hinzu kommt die Vorstellung des laufenden Projektes bei der KONTEC 2021 als Plenarvortrag.

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“, (BMU-Vorhaben 4717R01364). Dieses Vorhaben wurde zum 30. Juni 2020 abgeschlossen. In diesem Forschungsvorhaben 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: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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 31.08.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 627.219,60 € inkl. PP
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.

I.2 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 geplanten zeitlichen Abfolge und Zuordnung dargestellt. Die schraffierten Flächen stellen die Änderungen auf Grund der kostenneutralen Verlängerung dar (s. 3.)

	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>																
AP 7 <i>Messung realer Proben aus Anlagen</i>					UK											
AP 8 <i>Beurteilung der Ergebnisse</i>																
AP 9 <i>Aufarbeitung/Veröffentlichung</i>																
AP 10 <i>Verbundkoordination</i>																

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

Die Arbeiten zu Voruntersuchungen an bestrahlten Graphitproben (AP2) wurden im Berichtszeitraum fortgesetzt. Im Mai 2021 wurden Messungen mit unverdünnten und verdünnten bestrahlten Proben durchgeführt. Dabei zeigten sich Inkonsistenzen in den Messungen, die darauf hindeuten, dass die Proben ungenügend homogenisiert worden waren. Für Juli/August 2021 wurden zur Überprüfung des Homogenisierungsverfahrens Reihenmessungen mit bestrahlten Proben angesetzt. Nach dem Abschluss dieser Reihenmessungen kann das AP2 voraussichtlich in der zweiten Jahreshälfte abgeschlossen werden. AP3 wurde abgeschlossen, aber insgesamt ergaben sich pandemiebedingt Verzögerungen bei der Planung der Messzeiten. Dies betrifft insbesondere die geplanten Messzeiten aus AP5 und AP7. Um auch höher aktivierte Proben besser handhaben zu können, wird außerdem innerhalb AP5 das Gassystem nochmals modifiziert werden. Aus den beiden letztgenannten Gründen wurde ein entsprechender Antrag auf kostenneutrale Verlängerung und eine Mittelumwidmung gestellt und genehmigt. Weitere reale Proben aus kerntechnischen Anlagen wurden beschafft, die ebenfalls bei den im Juli/August geplanten Messzeiten gemessen werden sollen. Eine weitere peer-review-Publikation zum Gassystem wird vorbereitet (AP9).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die begonnenen Arbeiten werden wie fortgesetzt. Insgesamt ergaben sich durch pandemiebedingt ausgefallene Messzeiten leichte Verzögerungen. Da außerdem ein unerwarteter Mitarbeiterwechsel (Auflösung des Vertrags mit A. Stolz 31.12.2020, Neubesetzung zum 15.01.2021) stattfand, wurde eine kostenneutrale Verlängerung beantragt und genehmigt (s. angepasster Balkenplan in Abschnitt 2).

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

Eine peer-review-Publikation zum Gassystem wird vorbereitet (s.o.). Für die nun online geplante AMS-15 Konferenz (November 2021) werden zwei Beiträge geplant. Üblicherweise werden die Konferenzberichte der AMS-Konferenzen anschließend peer reviewed veröffentlicht.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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 30.12.2022	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

Der Fokus im Berichtszeitraum lag auf der Validierung der Modellierung des SGS-Messprozesses (AP5 / AP6). Hierzu wurden die individuellen Komponenten des Modells mittels dedizierter Messungen mit hoher Statistik geprüft. Zuerst wurden Leermessungen durchgeführt, d. h. Messungen mit radioaktiven Quellen ohne Matrix. Die registrierten Gamma-Spektren hängen in diesem Fall nur von der Kollimatorfunktion, den Detektoreigenschaften und den Abständen der Quellen vom Detektor ab. Die für die anschließenden Messungen mit den Quellen in Matrix benötigten Materialeigenschaften des verwendeten Kalibrationsfassens wurden durch Quotientenbildung zweier Messungen mit den Quellen mit und ohne Matrix bestimmt. Hierdurch entfallen alle detektor-, quellen- und geometriespezifischen Abhängigkeiten.

Mittels der erhaltenen Daten wurde ein Voxelmodell des Gebindes erstellt und damit die Vorhersagen des Modells (d. h. der Likelihood-Funktion) bei gegebener Matrix geprüft (AP9). Weitere untersuchte Aspekte waren die genaue Charakterisierung der Kalibrationsquelle

hinsichtlich Stärke und Punktförmigkeit sowie der Einfluss von geringen Abweichungen der Ausrichtung von Kollimatorachse und Quellenposition zwischen den Messungen und den entsprechenden Simulationen. Für diese Untersuchungen wurden Langzeitmessungen durchgeführt, um den Einfluss von statistischen Unsicherheiten zu minimieren. Zusätzlich soll mit den gewonnenen Messdaten der Einfluss von systematischen Abweichungen, wie z. B. der kohärenten Streuung, untersucht werden. Die Ergebnisse dieser Studie sollen Teil einer weiteren Veröffentlichung werden.

Als ein Ergebnis dieser Untersuchungen wurde eine weitere Optimierung in der Berechnung der Kollimatorfunktion implementiert. Die bislang realisierte numerische Integration über den Raumwinkel mittels Zufallszahlen in einer Region of Interest (ROI) wurde durch ein gleichförmig verteiltes Punktraster basierend auf der Fibonacci-Spirale ersetzt. Neben der Verbesserung der numerischen Genauigkeit ergab sich hierdurch auch eine deutliche Minimierung der erforderlichen Rechenzeit.

Parallel wurde mit der Untersuchung des systematischen Einflusses von unterschiedlichen Aktivitätsverteilungen in der Auswertung begonnen. Die Messgeometrie des segmentierten Gamma Scannings (SGS) (z. B. ein Vielfach-Scheiben Scan) erlaubt in der Regel prinzipiell keine eindeutige Rekonstruktion der realen räumlichen Aktivitätsverteilung. Aus diesem Grund basieren die Auswertungen bislang auf einfachen analytisch zu beschreibenden Hypothesen, wie einer punktförmigen Verteilung im Zentrum oder einer homogenen Verteilung. Diese Hypothesen wurden um eine torusförmige Aktivitätsverteilung mit beliebigem Zentrum erweitert. Diese Erweiterung erlaubt nun die Abschätzung von Systematiken realitätsnäherer Aktivitätsverteilungen. Die individuellen Komponenten (punktförmig, torusförmig, homogen) können dabei als Mischmodell oder individuell zum Vergleich eingesetzt werden. Diese Herangehensweise erhöht die Anzahl an freien Parametern im Model nur geringfügig, so dass eine schnelle Konvergenz in der MCMC gewährleistet ist. Zusätzlich ermöglicht das implementierte Voxelmodell nunmehr die Umsetzung nahezu beliebiger Aktivitätsverteilungen.

Ein wesentlicher Aspekt in der Auswertung von SGS-Messungen ist ein korrekter Untergrundabzug. Mathematisch betrachtet handelt es sich hierbei um eine Differenzbildung zweier Poisson-verteilter Zufallszahlen. Im Vergleich zu einer Beschreibung mittels einfacher Poisson-Statistik wurden durch die Implementation von Modellen, die von Kirkpatrick publiziert wurden (DOI: 10.1109/TNS.2009.2020516), vor allem bei geringen Photonenzahlen Verbesserungen erzielt. Dies wurde durch Messungen und Simulationen mittels der Monte-Carlo-Methode verifiziert. Im nächsten Schritt soll die Methode zur Beschreibung der Zählraten in der Markov-Chain-Monte-Carlo (MCMC) verwendet werden (AP6).

Aktuell besteht die im Rahmen des Projekts in der Programmiersprache Python entwickelte Software aus einer Reihe von Klassen und Modulen, die individuell zur Auswertung einer konkreten Aufgabenstellung eingesetzt werden. Die korrekte Ausführung, Prüfung der Zwischenergebnisse etc. obliegt dem Nutzer und ist damit nur für Experten verwendbar. Um der Anforderung eines einfach zu bedienenden Auswerteprogramms (AP8) gerecht zu werden, wurde mit der Erstellung eines graphischen Benutzerinterfaces begonnen. Ein integriertes Teilmodul, das Interface zur Berechnung der Ortsverteilung aus den Daten einer SGS-Messung, wurde mittlerweile fertiggestellt.

4. Geplante Weiterarbeit

Bisher wurden Absorptionsdaten entweder aus den Ergebnissen von CT-Messungen bestimmt oder sie wurden als bekannt vorausgesetzt. Die Matrix realer Abfallgebinde kann eine sehr komplexe Struktur aufweisen, deren exakte Nachbildung in der Regel nicht möglich sein wird. Um diese Problematik aufzugreifen (AP4), sollen in einem ersten Schritt die Unsicherheiten bezüglich der Materialzusammensetzung durch minimal und maximal zu erwartenden Abschwächungskoeffizienten in der Gewichtsmatrix berücksichtigt werden. Im Rahmen der Marcov-Chain-Monte-Carlo kann dies durch eine Linearkombination beider Fälle integriert werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen anschließend auf die Auswertung der Messdaten der Digitalen Rotations Radiographie (DRR) Anwendung finden, bei der zunächst die Matrixeigenschaften entlang des Sichtstrahls gemittelt und geeignete Abschätzungen für Ober- und Untergrenze gefunden werden sollen.

Parallel zu diesen Arbeiten werden die in Abschnitt 3 aufgeführten Arbeiten fortgesetzt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Durch die Mitgliedschaft von RCM in ENTRAP (European Network of Testing Facilities of Radioactive Waste Packages) wurde bekannt, dass sowohl bei CEA, Frankreich, als auch bei SCK/CEN, Belgien, Gruppen an ähnlich gelagerten Fragestellungen arbeiten. Im Berichtszeitraum wurden erste Publikationen von CEA und SCK/CEN zu dieser Thematik mit alternativen Vorgehensweisen veröffentlicht. Die Unterschiede betreffen im Wesentlichen die verwendete Instrumentierung, die eingesetzten Messverfahren, die unterstellten Hypothesen sowie die eingesetzten Auswertemodelle. Eine detailliertere Analyse der Publikationen ergab, dass es sich hier um drei unterschiedliche Ansätze auf der Grundlage bayes'scher Verfahren handelt. Da innerhalb von ENTRAP ein generelles Interesse an einem direkten Vergleich der drei Verfahren bestand, wurde eine lose Zusammenarbeit initiiert um die veröffentlichten Algorithmen in dem Softwareframework des Vorhabens ebenfalls zu implementieren.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Veröffentlichung, derzeit in der finalen Review Phase:

T. Bücherl, S. Rummel, O. Kalthoff; A Bayesian Method for the Evaluation of Segmented Gamma Scanning Measurements. Zur Veröffentlichung in Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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 Fassgebände	
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 Fassgebände 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): Rechercharbeiten, 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 Fassgebände 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 Fassgebändes 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)

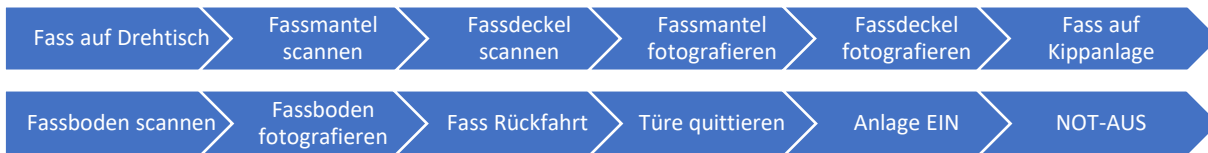
AP10 (Evaluationsphase): Evaluation des gesamten Vorhabens, Ausarbeitung von Ergebnispräsentationen

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse (mit Referenz zu AP3, AP4 und AP5)

Konzeptphase und Erstellung Demonstrator 1.0

TMB: Die Planung und der Bau des ersten Demonstrators (Demonstrator 1.0) erfolgte und führte zum gewünschten Ergebnis. Hierbei sind nun die Fördereinheiten fertig gestellt innerhalb des Containers und die Abläufe funktionsbereit. Weiterhin werden in die Containeranlage die optischen Erfassungssysteme eingebaut, was zur geplanten Fertigstellung des ersten Demonstrators auf Ende Juli führt.

Die Fördertechnik ist in der Lage, die 200 l Fassgebilde mit einer Beladung von bis zu 1.000kg zu fördern, zu drehen und diese zu kippen, um eine Inspektion des Fassbodens zu ermöglichen. Auf dem Drehtisch erfolgt eine Drehung um 370°, um eine leicht überschneidende Komplettaufnahme der Manteloberfläche zu ermöglichen. Innerhalb der Containeranlage ist an der Decke eine automatisierte Lineareinheit mit Schlitten angebracht worden, die zum einen Laser- und Kameratechnik zur Erfassung des Fassdeckels beinhalten und zum anderen einen Auslegearm, auf dem zwei Kameras und die Lasertechnik zur Erfassung des Fassmantels verbaut sind. Durch die bewegliche Lineareinheit fungieren die Kamera- und Lasertechnik des Mantels anschließend ebenfalls zur Erfassung des Fassbodens nach dem Kippvorgang. Der Container ist lichtdicht abgeschottet um keinerlei Störlichtquellen während des Erfassungsvorgangs zuzulassen. Um eine optimale Beleuchtung des Fassgebildes zu gewährleisten wurden ebenfalls an die Lineareinheit an der Decke vier Beleuchtungseinheiten montiert, die mit der Lineareinheit frei verfahrbar sind. Es werden zwei weitere Beleuchtungseinheiten in die Containeranlage eingebaut um die Mantelfläche und den Boden zu beleuchten. Die einzelnen Vorgangsschritte der Anlage sind automatisiert und über ein externes Panel ansteuerbar. Die einzelnen ausführbaren Befehle gliedern sich wie folgt:



Erste Vorversuche der Fördertechnik mit Fassgebinden wurden bereits durchgeführt um eine generelle Funktionalität der Anlage zu testen, was zu einem positiven Ergebnis führte. Ebenfalls wurden die optischen Erfassungssysteme (Kamera & Laser) auf die Fassgebinde angewendet um einige Vorparameter zu bestimmen und einen späteren, reibungslosen Ablauf zu ermöglichen. Eine umfangreiche Feineinstellungs- und Versuchsphase startet im August 2021, die mit einer Validierungsphase ab November 2021 fortgeführt wird.

IPF: Die im Rahmen des Projektes entwickelte Konzeption der Sensorik sieht zwei Sensorkombinationen vor. Die erste besteht aus einer bzw. zwei Kameras und einem Laser-Lichtschnittsensor zur Erfassung der Fassmantelfläche. Der Laser-Lichtschnittsensor ist so orientiert, dass er eine vertikale Laserlinie erzeugt, die exakt auf die Zylinderachse (bzw. Drehachse des Tellers) ausgerichtet ist. Diese Sensoreinheit lässt sich durch eine Linearführung an der Decke des Containers nach dem Kippvorgang des Fasses (um 90°) horizontal nachführen, um wieder den geeigneten Abstand von ca. 0,9m für die Erfassung des Fassbodens zu erhalten. Die zweite Sensorkombination besteht aus einer Kamera und einem Laser-Lichtschnittsensor, die an der Decke des Containers zentrisch über dem Drehteller angebracht sind und senkrecht nach unten zur Erfassung des Fassdeckels ausgerichtet sind.

Zur Auswahl der geeigneten Steuerungssoftware wurden zwei Ansätze (Komplettpakete der Fa. STEMMER oder HALCON, eine Software für industrielle Bildverarbeitung der Firma MVTec) verfolgt. Nach umfangreichen Versuchen zur Auswahl konnte mit beiden Ansätzen bereits Bild- sowie Laser-Lichtschnittdaten auf den Prozessrechner übertragen werden. Der große Vorteil der HALCON-Software besteht darin, dass hier sowohl die Ansteuerung der Sensoren zur Übertragung der Daten als auch die anschließende Analyse dieser Daten in einem gemeinsamen System erfolgen kann, zumal HALCON bereits über zahlreiche Analyseroutinen verfügt, die die Entwicklung der hier benötigten Algorithmen erheblich erleichtert und verkürzt.

Durch die Covid-19 bedingte zeitliche Verzögerung der Herstellung und Lieferung der Fassprüfanlage in einem Container konnte die Montage der Sensoren und der Beleuchtung erst ab Juni 2021 erfolgen. Die Beleuchtungen für die erste Sensoreinheit besteht aus zwei 0,8m langen, vertikal ausgerichteten LED-Leuchten. Um eine möglichst gleichmäßige Ausleuchtung des Fassdeckels zu erreichen, wurden 4 kurze (ca. 0,3m) LED-Leuchten rautenförmig um die zweite Sensoreinheit angeordnet.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In den nächsten Monaten sind verschiedene Feineinstellungs- und Validierungstests geplant um die Demonstratoreinheit weiter zu optimieren.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Auf der KONTEC, die dieses Jahr vom 25.08-27.08.2021 in Dresden stattfindet, wird ein Poster zu „EMOS – Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebände“ vorgestellt sowie ein Full-Paper publiziert. Zudem wird auf der DEM vom 13.09. - 15.09.2021 in Avignon, Frankreich ein Vortrag „Development of a mobile, automated, optical inspection system for radioactive drums“ gehalten und ein dazugehöriges Paper veröffentlicht.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9422A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Framatome GmbH (Framatome)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Virtual REmote RObotics for Radiometric Sorting (VIRERO) Teilprojekt: Intuitive VR/AV Multi-Robotersteuerung für ein anwendungsnahes Rückbauszenario	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2020 bis 30.09.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 462.296,53 €
Projektleiter/-in: M.Sc. Sebastian Kohn	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: virero@framatome.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Kooperationspartner Framatome GmbH (Framatome), die Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) und der Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) haben sich zum Ziel gesetzt, eine ortsflexible modulare robotergestützte Sortieranlage für die teleoperierte Konditionierung radioaktiver Abfälle zum Zweck der volumenoptimierten Verpackung und Beprobung zu entwickeln.

Innerhalb des Projektes werden Robotersysteme und radiologische Messverfahren entwickelt, um sowohl teleoperiert als auch teilautonom radioaktive Reststoffe zu zerlegen, nuklidspezifisch zu charakterisieren und zu sortieren. Die Zielstellung der Technologieentwicklung reicht von der Zerlegung und Sortierung von Betriebsabfällen mit hoher Dosisleistung, wie Filterkerzen und Beutelfiltern, über die Nachkonditionierung verpackter radioaktiver Abfälle, bis zu einer radiologischen Sortierung für ein optimiertes Freigabeverfahren. Konventionelle Systeme weisen eine geringe Flexibilität bezüglich einer Adaption an unterschiedliche Einsatzbedingungen und Aktivitätsklassen auf. Das Aufbrechen und Zerteilen verpackter Abfälle sowie der hochindividuelle Teilecharakter stellen diese Systeme vor Herausforderungen. Die Verwendung von Industrierobotern, innovativer Sensorik aus der Robotik und Kerntechnik sowie eine immersive, lernfähige Teleoperation birgt Potenzial die beschriebenen Herausforderungen zu lösen.

Projektziel ist die Erschließung einer adaptiven, aufgabengerechten Teleoperation für das kerntechnische Umfeld. Erforderlich hierfür sind die Entwicklung und Fusionierung einer radiologischen und räumlichen Charakterisierung der Reststoffe. Autonome, mitlernende Systemfähigkeiten dienen dazu, sukzessiv die von Operatoren durchgeführten Aufgaben zu reduzieren. Der Arbeitsschutz wird verbessert, da während der Handhabung und Sortierung das Personal keine Strahlenexposition erfährt.

Der Tätigkeitsschwerpunkt seitens Framatome liegt in der Befähigung von Robotertechnologien zur effizienten Nachkonditionierung. Hierfür stehen neben einem adaptiven System, eine exakte Umgebungserfassung und -repräsentation sowie eine intuitive Bedienbarkeit im Fokus.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Gemäß der Vorhabensbeschreibung gliedert sich das Durchführungskonzept in 5 Arbeitspakete (AP): AP1 „Versuchsanlage“, AP2 „Basisfähigkeiten“, AP3 „Radiologische Charakterisierung“, AP4 „Digitaler Teilezwilling“ und AP5 „AV- & KI-Operatorentlastung“.

In AP1a) ist Framatome gemeinsam mit dem FAPS verantwortlich für Planung und Aufbau der Versuchsanlage zur räumlichen Charakterisierung. Außerdem ist Framatome in AP1b) zuständig für die gemeinsame Funktionsintegration der Teilergebnisse in die Versuchsanlage. In AP1c) wird federführend durch Framatome gemeinsam mit den Partnern eine abschließende Bewertung des Gesamtvorhabens durchgeführt. Framatome ist hauptverantwortlich für AP2, indem die Verfügbarkeit von Basisfähigkeiten und deren Erweiterung im Fokus stehen. Dies beinhaltet in AP2a) die Steigerung der Genauigkeit der Punktwolken und die vollständige Umgebungspräsentation in der VR. In AP2b) entwickelt Framatome mit dem FAPS eine interoperable Bewegungssteuerung und implementiert eine Echtzeit-Kollisionsvermeidung der beteiligten Roboter. Eine benutzerfreundliche VR-Schnittstelle zur Steuerung autonomer Roboterfunktionen wird in AP2c) erarbeitet und die Entwicklung einer Simultanteleoperation mehrerer Roboter wird in AP2d) adressiert. In AP4 ist Framatome gemeinsam mit dem AiNT und dem FAPS verantwortlich für die räumliche Teile-Charakterisierung und deren finale Fusion zum digitalen Teilezwilling.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Im Rahmen von AP1a) unterstützte Framatome die Fertigstellung der Versuchsanlage (Meilenstein A) am Lehrstuhl FAPS. Für geplante Tests an der Versuchsanlage am Lehrstuhl FAPS in AP1b) wurden innerhalb der Unity-Software Komponenten entwickelt, welche den Einstieg und die Anwendung in die Unity-Software für andere Teilnehmer, z.B. StudentInnen, vereinfacht und darüber hinaus der Performancesteigerung dient.

Im Arbeitspaket AP2a) ist das zentrale Thema die möglichst exakte Umgebungsrepräsentation. Um das Greifen innerhalb der VR möglichst performant zu gestalten ist eine entsprechende Genauigkeit aller Beteiligten Komponenten essentiell. Die physische Umgebung muss auf der Unity-Seite in Form der virtuellen Darstellung so realgetreu wie möglich nachgebildet werden – bzw. dürfen Abweichungen vom Modell zur Realität nicht zu groß sein um letztlich den erfolgreichen Greifvorgang zu gewährleisten. Hierzu wurde bereits priorisiertes Kalibrationsverfahren mittels ArUco Marker implementiert und am Framatome Versuchsstand erfolgreich getestet. Dabei wurde zunächst eine Kalibration der Kameras mit mehreren ArUco-Markern durchgeführt und anschließend eine Kalibration des Roboters mit einem einzigen Marker. Dieser wurde am Roboterflansch mit einer eigens im 3D-Druck-Verfahren entwickelten Zwischenhalterung angebracht und durch unterschiedliche Positionierungen des Roboters für die Kalibrierung verwendet.

Laufende Arbeiten in AP2 wurden fortgeführt, wie die bereits entwickelte Sensor-Pipeline zur Weiterverarbeitung der Sensor- bzw. Kameradaten. Die Sensor-Pipeline wurde erweitert und optimiert plus Integration einer weiteren Stereokamera, der ZED 2 von Stereolabs.

Für die Erreichung des Meilensteins B, bezogen auf den Inhalt von Arbeitspaket 2a), wurden zum ursprünglichen Ansatz bzw. Verfahren, welches für die VR-Darstellung CAD-Daten und Punktwolken fusioniert, zwei weitere Ansätze erforscht. Beide Ansätze basieren auf den Eingangsdaten von Stereokameras. Beim ersten Verfahren, dem sog. StereoWarp-Verfahren, wird basierend auf Punktwolken ein detailgetreues Stereobild gerendert, das sich der Positionen des Betrachters anpasst. Beim zweiten Verfahren, Stereoskopie-Ansatz, werden keine Punktwolken als Grundlagen mehr verwendet, es handelt es sich um einen reinen Stereoskopie-

Ansatz wie er zum Beispiel bei der 3D-Bildwiedergabe verwendet wird. Das StereoWarp-Verfahren und der Stereoskopie-Ansatz wurden bereits am Framatome Versuchsstand erfolgreich getestet.

Aus praktischen Gründen wurden bereits Vorüberlegungen zur Roboteransteuerungen, in AP2b) kommend, unternommen: aufgrund von, während der Tests, immer wieder auftretenden Problemen mit Singularitäten und Achsgrenzen wurden über die vom Roboterhersteller standardisierte Roboter-Ansteuerung hinaus Überlegungen unternommen mit einer optimierten universellen Ansteuerung der Roboter diese Probleme zu umgehen.

4. Geplante Weiterarbeit

Bezogen auf die Funktionsintegration von Hardwarekomponenten, (siehe AP1b)), befindet sich Framatome derzeit im Austausch mit dem Lehrstuhl FAPS, v.a. bezüglich der Implementierung verschiedener Greifer und anschließender Tests. Ebenso ist die Einbindung der Externen Achse in die VR-Darstellung und deren Ansteuerung über die VR-Welt geplant.

Die im Berichtszeitraum erreichten Ergebnisse zur exakten Umgebungsrepräsentation aus AP2a) werden weiterhin sukzessive in die Versuchsanlage am Lehrstuhl FAPS integriert und entsprechend AP1b) getestet und evaluiert, u.a. die erwähnte Kalibrierung, mit dem Ziel Meilenstein B fristgerecht zu erreichen, der aus Sicht von Arbeitspaket 2 das Ergebnis der exakten räumlichen Darstellung beinhaltet. Für eine finale Bewertung der neuen Verfahren für die Bildgebung innerhalb der VR-Darstellung, (in AP2a)), werden noch weitere Tests am Framatome Versuchsstand durchgeführt, ebenso sind Test und eine Evaluierung der Ergebnisse an der Versuchsanlage des Lehrstuhls FAPS geplant.

Außerdem ist geplant demnächst mit Arbeiten für AP2b) zu beginnen. Arbeiten zur Kollisionsvermeidung sollen starten und die bereits gemachten Vorüberlegungen zur Roboteransteuerung sollen entwickelt und umgesetzt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Ein Bezug zu ROBDEKON (BMBF 13N14675) ist vorhanden. Seit Projektstart haben sich aber keine Änderungen gegenüber der Antragstellung ergeben. Die Verbundpartner werden an öffentlichen Veranstaltungen zu ROBDEKON teilnehmen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

/1/ A. Blank et al.: „**Robotic Technologies for Volume-Optimized Conditioning of Radioactive Waste – VIRERO**“, ICOND DIGITAL 2020, Aachen, 24. - 26. November 2020.

/2/ A.Havenith et al.: „**Robotergestützte Sortierung radioaktiver Abfälle zwecks volumenoptimierter Konditionierung – VIRERO**“, KONTEC 2021, Dresden, 25. – 27. August 2021.

/3/ Pressemitteilung der Framatome GmbH: „**Framatome achieves milestone in robotics project for dismantling and decommissioning**“, <https://www.framatome.com/medias/framatome-achieves-milestone-in-robotics-project-for-dismantling-and-decommissioning/>

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9422B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Vlrtual REMote RObotics for Radiometric Sorting (VIRERO) Teilprojekt: Ortsaufgelöste radiologische Charakterisierung zur Sortierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2020 bis 30.09.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 301.960,83 €
Projektleiter/-in: Dr. Christopher Helmes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: helmes@nuclear-training.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Kooperationspartner Framatome GmbH (Framatome), die Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) und der Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) haben sich zum Ziel gesetzt, eine ortsflexible modulare robotergestützte Sortieranlage für die teleoperierte Konditionierung radioaktiver Abfälle zum Zweck der volumenoptimierten Verpackung und Beprobung zu entwickeln.

Innerhalb des Projektes werden Robotersysteme und radiologische Messverfahren entwickelt, um sowohl teleoperiert als auch teilautonom radioaktive Reststoffe zu zerlegen, nuklidspezifisch zu charakterisieren und zu sortieren. Die Zielstellung der Technologieentwicklung reicht von der Zerlegung und Sortierung von Betriebsabfällen mit hoher Dosisleistung, wie Filterkerzen und Beutelfiltern, über die Nachkonditionierung verpackter radioaktiver Abfälle, bis zu einer radiologischen Sortierung für ein optimiertes Freigabeverfahren. Konventionelle Systeme weisen eine geringe Flexibilität bezüglich einer Adaption an unterschiedliche Einsatzbedingungen und Aktivitätsklassen auf. Das Aufbrechen und Zerteilen verpackter Abfälle sowie der hochindividuelle Teilecharakter stellen diese Systeme vor Herausforderungen. Die Verwendung von Industrierobotern, innovativer Sensorik aus der Robotik und Kerntechnik sowie eine immersive, lernfähige Teleoperation birgt das Potenzial die beschriebenen Herausforderungen zu lösen.

Projektziel ist die Erschließung einer adaptiven, aufgabengerechten Teleoperation für das kerntechnische Umfeld. Erforderlich hierfür sind die Entwicklung und Fusionierung einer radiologischen und räumlichen Charakterisierung der Reststoffe. Autonome, mitlernende Systemfähigkeiten dienen dazu, sukzessiv die von Operatoren durchgeführten Aufgaben zu reduzieren. Der Arbeitsschutz wird verbessert, da während der Handhabung und Sortierung das Personal keine Strahlenexposition erfährt.

Der Entwicklungsschwerpunkt der AiNT ist die Entwicklung und Erforschung von automatisierten Verfahren der Aktivitätsbestimmung basierend auf der Fusion der räumlichen und radiologischen Charakterisierung der zu sortierenden Reststoffe oder Abfälle. Hierbei ermöglicht der Einsatz von ODL-Messsonden, Szintillationsdetektoren und Halbleiterdetektoren eine Charakterisierung von vernachlässigbar wärmeentwickelnden Reststoffen bis hin zu Hochdosisleistungsabfällen. Die entwickelten Messverfahren sind insbesondere dafür geeignet Hot-Spots in radioaktiven Abfällen ortsaufgelöst zu detektieren, radionuklidspezifisch zu charakterisieren und robotergestützt zu separieren.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Gemäß der Vorhabensbeschreibung gliedert sich das Durchführungskonzept in 5 Arbeitspakete: AP1 „Versuchsanlage“, AP2 „Basisfähigkeiten“, AP3 „Radiologische Charakterisierung“, AP4 „Digitaler Teilezwilling“ und AP5 „AV- & KI-Operatorentlastung“.

Im Rahmen des Projekts ist AiNT allein verantwortlich für AP3 „Radiologische Charakterisierung“: In Unterarbeitspaket 3a) werden die Messanlage geplant und errichtet sowie die Detektoren für die Aktivitätsrekonstruktion modelliert. Unterarbeitspaket 3b) beinhaltet die Messanlage für die radiologische Charakterisierung in Betrieb zu setzen, zu kalibrieren und den Testbetrieb. Unterarbeitspaket 3c) umfasst die Softwareentwicklung für die automatisierte Steuerung der Messanlage, wie auch für die orts aufgelöste Aktivitätsrekonstruktion.

Zusätzlich ist die AiNT in Arbeitspaket AP4b) „Datenfusion und Zwilling“ gemeinsam mit dem FAPS eingebunden.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP3a) Planung Messanlage und Detektormodellierung

In KW19 wurde die seitens AiNT konzipierte Messanlage angeliefert. Der Aufbau der Messanlage im Technikum von AiNT lief ohne besondere Vorkommnisse ab. Im Nachgang wurden zwei zunächst nicht passende Detektorhalterungen (CeBr-Szintillationszähler und STTC-Sonde) gefertigt. Eine weitere Verbesserung betraf die nachträgliche Befestigung des LYNX-Vielkanalanalysators am Detektorschlitten. Die Inbetriebnahme der Messanlage inkl. diverser Prüfungen erfolgte in der darauffolgenden Woche.

Innerhalb des Berichtszeitraums erfolgte die Lieferung der vier Detektoren sowie der zugehörigen Hardwareperipherie. Die CeBr₃- und NaI(Tl)-Szintillationsdetektoren wurden in Betrieb genommen. Basierend auf der Aufnahme von Gammaspectren radioaktiver Punktquellen außerhalb der Messanlage wurde die Funktionstüchtigkeit der Szintillationsdetektoren und die Übereinstimmung mit der geforderten Spezifikation festgestellt. Die STTC-Sonde wurde ebenfalls in Betrieb genommen. Auch hier wurde die ordnungsgemäße Funktion durch Testbetrieb mit radioaktiven Punktquellen verifiziert. In KW26 erfolgte die Inbetriebsetzung des HPGe-Detektors. Der HPGe-Detektor wurde hierfür mittels eines eigenen Elektronikmoduls elektrisch über eine Dauer von 24 h auf die notwendige Betriebstemperatur von -185 °C gekühlt. Im Nachgang hierzu erfolgte eine erste Aufnahme von Untergrundspektren und daran anschließend die Energiekalibrierung mittels einer Co-60 Punktquelle. Für den Szintillationsdetektor mit CeBr₃-Kristall wurde mit der Detektormodellierung in dem Neutronen- und Photonentransportcode MCNP begonnen. Zusammen mit entsprechenden Messungen und Simulationsrechnungen in MCNP werden diese Detektormodelle validiert und finden so später Verwendung in der Software zur Bestimmung der Photopeak-Effizienzen (AiNT-Bezeichnung: TRACER), welche zur Aktivitätsrekonstruktion verwendet wird. Die Inbetriebnahme des Laserprofilscanners zur räumlichen Charakterisierung des Messguts ist in KW16 durchgeführt worden. Diese erfolgte zunächst außerhalb der Messanlage. Anschließend erfolgte die Montage des Profilsanners in der Anlage. Im aktuellen Setup der Messanlage ist der 3D-Laserprofilscanner und der HPGe-Detektor einsatzbereit montiert, sodass zum Beginn von Q3 mit Messkampagnen von Punkt- und Volumenquellen begonnen wird.

AP3b) Kalibrierung & Testbetrieb

Die Energiekalibrierung des HPGe-Detektors erfolgte anhand des Gammaskpektrums einer Co-60-Punktquelle in KW27. Für die anstehende Kalibrierung für den Anwendungsfall und den Testbetrieb wurden radioaktive Volumenquellen, sowie geeignete Behälter recherchiert. Die Behälter wurden in KW26 bestellt und in KW28 geliefert.

AP3c) Softwareentwicklung

Für das Auslesen der STTC-Sonde ist eine Softwareschnittstelle implementiert worden. Diese findet nach erfolgreichen Tests in der Software für die Steuerung der Messungen Anwendung. Die Steuerungssoftware dient der Steuerung des Messschlittens zum Anfahren unterschiedlicher Messpositionen. Außerdem übernimmt dieses Softwarepaket die Verwaltung der Messparameter, die Aufnahme der Messdaten aus dem Laserprofilscanner und dem jeweiligen Detektor sowie deren Weiterreichung an die Softwaremodule zur Auswertung. Die Steuerungssoftware wurde im vergangenen Halbjahr fertig spezifiziert und die Implementierung begonnen.

Die Aktivitätsrekonstruktion des Messguts erfordert die Übersicht über eine Vielzahl unterschiedlicher Messdaten, wie Gammaskpektren der Detektoren, Punktwolken des Laserscanners und den angefahrenen Messpositionen und simulierten Daten wie die Photopeakeffizienzen für die einzelnen Messanordnungen. Hierzu wurde mit der Spezifizierung eines Datenformats, basierend auf dem für gammaskpektroskopische Messungen gebräuchlichen N42-Datenformat begonnen. Mithilfe einer formalisierten Beschreibung der Messdaten wird eine bessere Nachvollziehbarkeit der Aktivitätsrekonstruktion erreicht.

4. Geplante Weiterarbeit**AP3a) Planung Messanlage und Detektormodellierung**

Der nächste Schritt in diesem Arbeitspaket ist die Finalisierung der Modellierung der radiologischen Detektoren in MCNP inklusive der Validierung der Detektormodelle mittels Testmessungen.

AP3b) Kalibrierung & Testbetrieb

Nach erfolgter Kalibrierung aller vier Detektoren sollen erste Messungen an punktförmigen radioaktiven Quellen gemäß eines festzulegenden Experimentierprogramms erfolgen. Aus den Ergebnissen dieses Experimentierprogramms wird die für das Projektvorhaben vorteilhafteste Art, Messungen durchzuführen, in Abhängigkeit der jeweiligen Aktivitätsinventaren bzw. Strahlungsfeldern abgeleitet. Die Volumenquellen für eine anwendungsnahe Kalibrierung der Detektoren in Messposition werden bestellt. Anschließend werden auch mithilfe dieser Volumenquellen Experimente zur Aktivitätsrekonstruktion räumlich ausgedehnter radioaktiver Volumenquellen durchgeführt. Der Laserprofilscanner soll zusammenhängende Punktwolken des Messtischs, inklusive Messgut, aufnehmen. Hierzu werden Laserprofilscans von diversen Objekten durchgeführt und bewertet.

AP3c) Softwareentwicklung

Aus den Messungen an den punktförmigen und ausgedehnten Quellen in AP3b) soll zu Testzwecken die Aktivität rekonstruiert werden. Dies dient einer Überprüfung des Verfahrens zur Aktivitätsrekonstruktion. Im letzteren Fall wird somit auch die räumliche Charakterisierung in der Aktivitätsrekonstruktion mitberücksichtigt. Die Software zur Steuerung des Detektorschlittens, das Auslesen der Detektoren und die Datenverarbeitung wird weiterentwickelt. Das Datenformat für die multivariaten Messdaten wird implementiert und getestet.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen weiterer F&E-Projekte, wie beispielsweise dem FORKA-Projekt QUANTOM® (Förderkennzeichen: 15S9406B) oder dem ERFE-Projekt ZEBRA (Förderkennzeichen EFE-0800541), hat AiNT bereits Expertise bzgl. nuklearphysikalischer Simulationen und der Aktivitätsrekonstruktion erworben. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Entwicklung von VIRERO ein.

6. Berichte und Veröffentlichungen

/4/ A. Blank et al.: „**Robotic Technologies for Volume-Optimized Conditioning of Radioactive Waste – VIRERO**“, ICOND DIGITAL 2020, Aachen, 24. - 26. November 2020.

/5/ A.Havenith et al.: „**Robotergestützte Sortierung radioaktiver Abfälle zwecks volumenoptimierter Konditionierung – VIRERO**“, KONTEC 2021, Dresden, 25. – 27. August 2021.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9422C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Vlrtual REmote RObotics for Radiometrie Sorting (VIRERO), Teilprojekt: Immersives, lernfähiges Teleoperationssystem und autonome Roboterfähigkeiten	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2020 bis 30.09.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 654.221,30 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: joerg.franke@faps.fau.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Die Kooperationspartner Framatome GmbH (Framatome), die Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) und der Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) haben sich zum Ziel gesetzt, eine ortsflexible modulare robotergestützte Sortieranlage für die teleoperierte Konditionierung radioaktiver Abfälle zum Zweck der volumenoptimierten Verpackung und Beprobung zu entwickeln.

Innerhalb des Projektes werden Robotersysteme und radiologische Messverfahren entwickelt, um sowohl teleoperiert als auch teilautonom radioaktive Reststoffe zu zerlegen, nuklidspezifisch zu charakterisieren und zu sortieren. Die Zielstellung der Technologieentwicklung reicht von der Zerlegung und Sortierung von Betriebsabfällen mit hoher Dosisleistung, wie Filterkerzen und Beutelfiltern, über die Nachkonditionierung verpackter radioaktiver Abfälle, bis zu einer radiologischen Sortierung für ein optimiertes Freigabeverfahren. Konventionelle Systeme weisen eine geringe Flexibilität bezüglich einer Adaption an unterschiedliche Einsatzbedingungen und Aktivitätsklassen auf. Das Aufbrechen und Zerteilen verpackter Abfälle sowie der hochindividuelle Teilecharakter stellen diese Systeme vor Herausforderungen. Die Verwendung von Industrierobotern, innovativer Sensorik aus der Robotik und Kerntechnik sowie eine immersive, lernfähige Teleoperation birgt das Potenzial die beschriebenen Herausforderungen zu lösen.

Projektziel ist die Erschließung einer adaptiven, aufgabengerechten Teleoperation für das kerntechnische Umfeld. Erforderlich hierfür sind die Entwicklung und Fusionierung einer radiologischen und räumlichen Charakterisierung der Reststoffe. Autonome, mitlernende Systemfähigkeiten dienen dazu, sukzessiv die von Operatoren durchgeführten Aufgaben zu reduzieren. Der Arbeitsschutz wird verbessert, da während der Handhabung und Sortierung das Personal keine Strahlenexposition erfährt.

Der Entwicklungsschwerpunkt der AiNT ist die Entwicklung und Erforschung von automatisierten Verfahren der Aktivitätsbestimmung basierend auf der Fusion der räumlichen und radiologischen Charakterisierung der zu sortierenden Reststoffe oder Abfälle. Hierbei ermöglicht der Einsatz von ODL-Messsonden, Szintillationsdetektoren und Halbleiterdetektoren eine Charakterisierung von vernachlässigbar wärmeentwickelnden Reststoffen bis hin zu Hochdosisleistungsabfällen. Die entwickelten Messverfahren sind insbesondere dafür geeignet Hot-Spots in radioaktiven Abfällen orts aufgelöst zu detektieren, radionuklidspezifisch zu charakterisieren und robotergestützt zu separieren.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Gemäß der Vorhabenbeschreibung gliedert sich das Durchführungskonzept in fünf Arbeitspakete (AP): AP1 „Versuchsanlage“, AP2 „Basisfähigkeiten“, AP3 „Radiologische Charakterisierung“, AP4 „Digitaler Teilezwilling“ und AP5 „AV- & KI-Operatorentlastung“. Der Lehrstuhl FAPS ist dabei wie folgt in die F&E-Arbeiten des Gesamtvorhabens involviert:

AP1 (a) bis (c): Planung, Aufbau und Optimierung der Versuchsanlage

AP2 (b): Interoperable Fernsteuerung und Kollisionsvermeidung der Roboter

AP4 (a) und (b): Räumliche Charakterisierung und Fusion zum digitalen Teilezwilling

AP5 (a) bis (d): Augmented Reality-Expertensystem sowie autonome Roboterfähigkeiten

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Der Lehrstuhl FAPS hat sich wie vorgesehen an AP1 (a) beteiligt. Es wurden zunächst alle Komponenten des Sicherheitskonzeptes abschließend in die Sicherheitssteuerung der Anlage integriert. Alle Notauskreise werden nun an zentraler Stelle ausgewertet und sind synchronisiert. Dabei wurden neben den integrierten Robotern auch alle weiteren Systeme wie die noch dargestellte Hubachse und die Trennschere ebenfalls in die Sicherheitssysteme integriert. Für die Trennschere wurde ein Stromlosschalten als Konzept entwickelt und anschließend in sicherer Technik implementiert. Durch die mechanische und softwareseitige Integration einer Hubachse als zusätzliche achte Achse für den Yaskawa SIA20F Roboter wurde dessen Arbeitsraum erweitert und somit die Grundlage geschaffen, um Versuche zur teleoperierten Fassentnahme sowie zur Assistenz Teleoperierender bei der effizienten Ansteuerung zusätzlicher Achsen durchzuführen. Als weitere neue Komponente wurde die zuvor ausgewählte Trennschere in die Versuchsanlage integriert. Dazu wurde ein mechanisches Adaptersystem konstruiert und gefertigt. Weiterhin wurde ein System zur gekapselten Ansteuerung der Scherenhydraulik entwickelt und aufgebaut. Nach der erfolgten Integration konnte die Inbetriebnahme des Schneidsystems am Yaskawa GP110 und erste grundlegende Tests zum robotergestützten Schneiden von Schrottteilen mit einem hydraulischen Schneidwerkzeug erfolgen. Neben dem Schneidwerkzeug wurden weiterhin mehrere Greifersysteme wie etwa ein Robotiq AGC-GRP-2F140 in die Anlage integriert. Es wurde ein Konzept für ein Beleuchtungssystem erarbeitet, um mit LED-Streifen eine diffuse Beleuchtung in der Prozessebene für anwendungsnahe Tests zu realisieren. Schließlich konnten mehrere Tests zur Inbetriebnahme des Gesamtsystems durchgeführt sowie die Fernsteuerung aller Roboter grundlegend untersucht werden.

Als Beitrag zu AP2 (a) wurden verschiedene Kamerasysteme evaluiert. Dabei wurden die einzelnen Systeme hinsichtlich der Darstellungsqualität für die konkreten Anwendungsfälle in der Versuchsanlage getestet. Es wurden dabei Merkmale und Charakteristika einmal hinsichtlich der Umgebungsrepräsentation und einmal hinsichtlich der Erfassung von einzelnen Testgegenständen untersucht. Von den untersuchten Systemen Kinect Azure DK, Intel Realsense D435 und ZED mini erlaubt die Kinect Azure DK sowie die Kamera ZED mini eine robuste Tiefendatenermittlung in der Versuchsanlage. Die Intel Realsense D435 eignet sich daneben als mitgeführte Kamera am Roboter. Durch Simulationen und Experimente wurden mehrere Varianten zur Positionierung der drei Kamertypen in der aufgebauten Versuchsanlage untersucht. Es folgte eine Optimierung der Anordnung der Kameras bezüglich der Abdeckung der Arbeitsräume der jeweiligen Roboter zur Erfassung mittels drei Kinect Azure DK Kameras.

In AP4 (a) konnte mit der Evaluation von Oberflächenrekonstruktionsalgorithmen begonnen werden. Hier wurde unter anderem der ElasticFusion-SLAM Ansatz zur Rekonstruktion bei beispielhaften Schrottteilen untersucht. Hier zeigt sich ein weiterer Forschungsbedarf zur Rekonstruktion von Objekten im vorliegenden Anwendungsfall.

In AP5 (a) konnte mit ersten Entwicklungen und grundlegenden Untersuchungen zum Themenkomplex Expertensystem begonnen werden. Zum einen wurden erste Ansätze für autonome Funktionalitäten untersucht. Hierbei wurde mit der Evaluation von Ansätzen zu automatisierten Greifpunktbestimmungen wie z.B. Generative Grasp GG-CNNv2 bei Teilen begonnen, die für den Anwendungsfall repräsentativ sind. Die Auswertungen hierzu und beispielsweise ein Vergleich von GG-CNNv1 und GG-CNNv2 sind gegenwärtig noch nicht abgeschlossen.

Bei den Arbeiten zur Mensch-Maschine-Schnittstelle in der Augmented Reality Umgebung wurde mit der Entwicklung einer VR-Menüstruktur zur Auswahl und Konfiguration der Robotersysteme, der Parametrisierung von Kamerasystemen und Punktwolken und zur Konfiguration weiterer Subsysteme wie zum Beispiel dem VR System selbst begonnen. Weiterhin wurden erste VR basierten Nutzerschulungen in kurzen Einheiten umgesetzt. Diese dienen zur Vorstellung der VR Grundfunktionen und der Schulung der Nutzer hinsichtlich der Ansteuerung eines Roboters. Die Schulungselemente werden als dynamisch erweiterbares System ausgelegt um weitere Inhalte abbilden zu können. Test der Nutzerschulungen mit Versuchspersonen stehen noch aus. Weiterhin wurde mit der Umsetzung einer Auswahl von Objekten in der VR Umgebung sowie mit einer kontextsensitiven Anzeige von Information und einer visuellen Hilfestellung beim Auffinden von angewählten Objekten in komplexen VR Umgebungen begonnen. Auch hier stehen Tests mit Nutzern an den prototypisch umgesetzten Elementen aus. Schließlich erfolgte eine erste Bedarfserhebung durch Interviews mit Experten als Vorbereitung der Entwicklung projektspezifischer GUI Elemente als wiederverwendbare Einheiten für unterschiedliche Formen der Nutzerinteraktion und Informationsaufbereitung.

4. Geplante Weiterarbeit

In AP1 (a) steht die abschließende Funktionsintegration aller Komponenten zur durchgängigen Ansteuerung aller Roboter und weiterer Komponenten wie Hubachse, Schere und Greifer aus der VR Umgebung an. Weiterhin ist eine Teilaufnahme für Schneidversuche zu entwickeln, die ausschließt, dass die potenziell sehr hohen Prozesskräfte der Trennschere in die beteiligten Robotersysteme eingekoppelt werden.

In AP2 (b) wird mit Arbeiten zur Kollisionsvermeidung begonnen werden. Dazu müssen Ansätze zur Vermessung und zur dynamischen Integration von aufgenommenen Objekten in die Kollisionsvermeidung entwickelt werden. Weiterhin sind umfangreiche Tests verschiedener Ansätze zur effizienten Manipulation in komplexen Umgebungen mit beschränktem Arbeitsraum zum Beispiel bei der Ablage in ein Fass notwendig.

In AP4 (a) werden die Untersuchungen zur Objektsegmentierung und Oberflächenrekonstruktion fortgesetzt. Weiterhin soll die Integration neuer Sensormoden zur effizienteren Teleoperation, beispielsweise mit einem Abstandssensor für die Trennschere zu Nutzerunterstützung vergleichbar etwa mit einer Einparkhilfe aus dem Automobilbereich, erfolgen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Seit Projektstart haben sich keine Änderungen gegenüber der Antragstellung ergeben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Havenith et al. - Robotergestützte Sortierung radioaktiver Abfälle zwecks volumenoptimierter Konditionierung – VIRERO

Blank et al. - Adaptive Motion Control Middleware for Teleoperation based on Pose Tracking and Trajectory Planning

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9423A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), Gotthard-Franz-Str. 3, Geb. 50.31, 76131 Karlsruhe	
Vorhabenbezeichnung: „Nasssiebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen“ (NAMASK) - Teilprojekt: Durchführung der Versuche mit inaktivem Probenmaterial	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2021 bis 31.12.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 672.256,85 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. S. Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist es, das aus dem WASS-Schnitt stammende Abfallgemisch (Suspension aus Wasser, inaktiven Abrasivpartikeln und Stahlpartikeln des radioaktiven Stahls) zu trennen. Zuerst wird gesiebt, dann die feine Fraktion abfiltriert und die im Sieb zurückgehaltene grobe Fraktion mit einem Magnetfilter nachbehandelt. Durch den Siebvorgang und die magnetische Abtrennung der Stahlpartikel entsteht ein selektiertes Abrasiv, das der WASS-Anlage für einen erneuten Schnitt wieder zugeführt werden kann. So soll sich der Sekundärabfall um 50-75% reduzieren. Das KIT-TMB und KIT-INE werden den Einsatz von Korrosionsinhibitoren mit anschließender Aufbereitung der Korngemische erproben, um somit das Schneiden ferritischer Stähle zu ermöglichen. Zur Erprobung des MaSK-Verfahrens werden WASSSchnitte mit ausgewählten nicht radioaktiven austenitischen und ferritischen Stählen durchgeführt. Danach sollen die einzelnen Prozessschritte, Siebung, Filtration und Magnetseparation verbessert werden. Dann werden die Prozessschritte gemeinsam durchgeführt und es wird ermittelt, welche Wiederverwendungsquote erreicht werden kann. Die Versuche mit der Separationsanlage werden am KIT-TMB durchgeführt, so hat bei diesen Versuchen das KIT-TMB die Federführung. Besonders die Verbesserung und Erprobung der einzelnen Prozessschritte werden am KIT-TMB bearbeitet und zur wissenschaftlichen Verwertung genutzt. Zudem sind Versuche mit radioaktiven Proben im Kontrollbereich des KIT-INE vorgesehen unter Leitung der Mitarbeiter des KIT-INE. Die Herstellung und der Transport werden von dem Verbundpartner ORANO durchgeführt.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Untersuchungen zur Verwendung von Korrosionsinhibitoren bei ferritischen Stählen

AP 2: Probenherstellung mit der WASS-Anlage

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

AP 4: Trennversuche mit radioaktiven Korngemischen

AP 5: Dokumentation der Ergebnisse

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

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Es wurden Recherchen zum Sieb durchgeführt. Die Siebanlagen, welche vergleichbare Korngemische behandeln konnten, wurden bezüglich der Funktionsweise und Massenströme verglichen. Danach wurde mit den Erfahrungen aus dem vorhandenen Siebsystem (Vorgängerprojekt MASK) ein neues Siebsystem geplant. Dieses befindet sich derzeit im Aufbau. Zudem wurde geplant, wie das neue Siebsystem an der bestehenden Anlage getestet werden kann.

Der bestehenden Magnetfilter soll mit Unterdruck betrieben werden (vorher Betrieb mit Überdruck). Es wurde mit der Planung für diese Betriebsart begonnen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu den Arbeitspaketen)

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Das neu entwickelte Siebsystem wird in Betrieb genommen und es wird ein Versuchsplan aufgestellt und durchgeführt.

Erste Versuche zum Betrieb des Magnetfilters mit Unterdruck sollen durchgeführt werden. Nötige Modifikationen sollen geplant werden und gebaut werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

„Separation System for the Treatment of Secondary Waste from the Waterjet-Abrasive-Suspension-Cutting“, Paper und Vortrag, DEM 2018 (France, Avignon, 2021, September 13-15).

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9423B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilprojekt: Durchführung von Versuchen mit radioaktivem Probenmaterial	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2021 bis 31.12.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 692.845,96 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Horst Geckeis	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: horst.geckeis@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ein Verfahren zur Zerlegung eines Reaktordruckbehälters ist das Wasser-Abrasiv-Suspension-Schneidverfahren (WASS), bei dem das Material mit einem speziellen Hochdruckwasserstrahl geschnitten wird. Dieses Verfahren bietet viele technische Vorteile, hat aber den Nachteil zusätzlichen beträchtlichen Sekundärabfalls. Beim WASS-Schnitt von Stahlkomponenten im Rückbau kerntechnischer Anlagen entsteht ein Abfallgemisch aus inaktiven Abrasivpartikeln und radioaktivem Schnittfugenmaterial. Ziel des Vorhabens ist es, das aus WASS-Schnitten stammende Abfallgemisch (Suspension aus Wasser, inaktiven Abrasivpartikeln und Stahlpartikeln des radioaktiven Stahls) so zu trennen, dass der Sekundärabfall maßgeblich reduziert wird. Das Abfallgemisch wird zunächst gesiebt, dann die feine Fraktion abfiltriert und die im Sieb zurückgehaltene grobe Fraktion mit einem Magnetfilter nachbehandelt (MaSK-Verfahren). Durch den Siebvorgang und die magnetische Abtrennung der Stahlpartikel entsteht ein selektiertes Abrasiv, das der WASS-Anlage für einen erneuten Schnitt wieder zugeführt werden kann. So soll sich der Sekundärabfall um 50-75% reduzieren. Das KIT-INE und KIT-TMB werden den Einsatz von Korrosionsinhibitoren mit anschließender Aufbereitung der Korngemische erproben, um somit das Schneiden ferritischer Stähle zu ermöglichen. Zur Erprobung des MaSK-Verfahrens werden WASS-Schnitte mit ausgewählten nicht radioaktiven austenitischen und ferritischen Stählen durchgeführt. Danach sollen die einzelnen Prozessschritte, Siebung, Filtration und Magnetseparation verbessert werden. Dann werden die Prozessschritte gemeinsam durchgeführt und es wird ermittelt, welche Wiederverwendungsquote erreicht werden kann. Alle Arbeiten werden gemeinsam von den Verbundpartnern des KIT durchgeführt, wobei die Federführung bei den Analysen beim KIT-INE liegt. Zudem sind Versuche mit radioaktiven Proben im Kontrollbereich des KIT-INE vorgesehen. Diese Arbeiten werden vom KIT-INE durchgeführt.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1: Untersuchungen zur Verwendung von Korrosionsinhibitoren bei ferritischen Stählen
- AP 2: Probenherstellung mit der WASS-Anlage
- AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage
- AP 4: Trennversuche mit radioaktiven Korngemischen
- AP 5: Dokumentation der Ergebnisse

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

(mit Referenz zu Arbeitspaketen)

Es wurden einige Treffen mit KIT-TMB aufgrund der Corona-Pandemie als Online-Veranstaltung durchgeführt.

Aufgrund der schwierigen Situation, die auch der Corona-Pandemie geschuldet ist, konnten wir bis jetzt noch kein qualifiziertes Personal gewinnen. Daher konnten erst Ende des ersten Halbjahres die Ausschreibungen für die Promotions- und Ingenieursstelle in die Wege geleitet werden. Die Bewerbungsfrist für die Promotionsstelle war der 30.6.2021. Die Ausschreibung für die Ingenieursstelle ist in die Wege geleitet; die Bewerbungsfrist ist Anfang des zweiten Halbjahres 2021.

Aktuell ist es noch nicht absehbar, ob das benötigte qualifizierte Personal bis zum 3. Quartal 2021 gewonnen werden kann. Daher haben wir um Mittelverschiebung in das Jahr 2022 erbeten.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu den Arbeitspaketen)

Aufgrund der Mittelverschiebung ist mit der Auswahl, Einstellung und Einarbeitung geeigneter Kandidatin/Kandidaten für die Promotions- und Ingenieursstelle erst Ende des Jahres bzw. Anfang 2022 zu rechnen.

Dennoch sind im nächsten Halbjahr regelmäßige Besprechungstreffen zu den gemeinsamen Arbeiten mit KIT-TMB geplant. Auch notwendige Analysen durch KIT-INE können für die Projektpartner durchgeführt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Zum jetzigen frühen Zeitpunkt des Verbundvorhabens wurde bereits gemeinsam mit TMB folgende Veröffentlichung erstellt bzw. geplant:

„Separation System for the Treatment of Secondary Waste from the Waterjet-Abrasive-Suspension-Cutting“, Paper und Vortrag, DEM 2018 (France, Avignon, 2021, September 13-15).

Berichtszeitraum: 01.05.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9428A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e.V.	
Vorhabenbezeichnung: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) - Teilprojekt: Projektkoordination sowie ökologische und radiologische Bewertungen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2021 bis 30.04.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 546.398,72 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Ing. Manuel Claus	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: m.claus@oeko.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Am Standort Philippsburg mit den beiden Kernkraftwerken Philippsburg Block 1 und 2 werden derzeit Stilllegungs- sowie Rückbautätigkeiten intensiv vorbereitet oder sind bereits im Gange. An diesem Standort wird ein angewandtes Forschungsprojekt durchgeführt, das die Erhebung von Recyclingpotentialen von Technologiemetallen und die Verbesserung der Recyclingpraxis dieser Metalle und Legierungen unter Berücksichtigung der strahlenschutzrechtlichen Freigabe zum Ziel hat. Hauptaugenmerk ist dabei zunächst die Identifikation bzw. die Vorauswahl besonders interessanter Anlagenteile und Komponenten, die im Verlauf des Forschungsvorhabens näher untersucht werden sollen.

Von Interesse sind gemäß den förderpolitischen Zielen des BMBF zum Recycling von wertvollen Metallen hierbei Anlagenteile, in denen aggressive Medien verwendet werden, hohe Drücke und Temperaturen herrschen sowie Mess- und Regelstrecken, Stromleitungen und Komponenten zur Stromumwandlung.

Zur Datenerhebung wird eine umfassende Fachliteraturrecherche im Internet durchgeführt. Außerdem werden Interviews auf der technischen Bearbeitungsebene des Kernkraftwerksbetreibers durchgeführt. Es soll im Weiteren davon ausgegangen werden, dass das zukünftige industrielle Recyclingverfahren im Anschluss an das behördliche Freigabeverfahren nach Strahlenschutzverordnung angeschlossen wird. Die Aufteilung in Bereiche im strahlenschutzrechtlichen Kontext ist aber aus diesen beiden Modellanlagen generalisierbar, was nicht zuletzt das Upscaling der Projektergebnisse ermöglicht.

Es folgen im weiteren Projektablauf die Erhebung der stofflichen Zusammensetzung und eine Erhebung des Inventars an wertvollen Technologiemetallen wie z.B. Kobalt, Zinn, Silber, Palladium, Gold und Rhodium. Es werden umfassende Demontagestudien und Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung von strahlenschutzrechtlich freigegebenen Komponenten durchgeführt, die eine technologische Weiterentwicklung der bestehenden Recyclingpraxis darstellt. Ein wichtiges Projektergebnis wird die Zusammenstellung der Verwertungswege der Materialgruppen sein, die relevante Speziallegierungen und Technologiemetalle enthalten. Dazu gehören die Bestimmung realistischer End-of-Life Recyclingpotenziale und eine Einteilung in verwertbare Materialgruppen. Dieses Ergebnis stellt einen Fortschritt des Standes der Wissenschaft dar, da solche Untersuchungen bislang nicht stattgefunden haben.

Ziel des Teilprojektes ist es, eine plan- und termingerechte Bearbeitung aller Arbeitspakete zu gewährleisten.

Weiterhin koordiniert das Öko-Institut inhaltlich die Arbeiten zur Identifizierung von Anlagenteilen und Komponenten mit hohem Recyclingpotential und ist zuständig für die

umfangreichen Erfassungen der verfügbaren Informationen über Recherchen in Fachliteratur, Interviews bei EnBW sowie Zulieferern.

Schließlich arbeitet das Öko-Institut schwerpunktmäßig zur Ökobilanz, um die Verfahren der Separierung, der Aufbereitung und des Recyclings der relevanten Technologiemetalle im Vergleich zur Primärproduktion umfassend bewerten zu können. Aufbauend auf den Projektergebnissen wird das Öko-Institut unter Berücksichtigung aller radiologischen Szenarien, die der uneingeschränkten Freigabe zugrunde liegen, prüfen und empfehlen, welches Material zum Recycling herausgegeben bzw. uneingeschränkt freigegeben werden kann. Sollte die uneingeschränkte Freigabe nur durch Maßnahmen der Dekontamination oder Einführen prozessualer Schritte wie dem zielgerichteten Entfernen von Gehäuse oder Mantelteilen erreicht werden können, so werden Vorschläge erarbeitet. Abschließend koordiniert das Öko-Institut sämtliche Projektergebnisse zu einer Synopse und skaliert diese anschließend auf sämtliche Kernkraftwerke in Deutschland auf.

In enger Abstimmung mit allen beteiligten Partnern wird für alle betrachteten Anlagenteile eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die Kosten und Erlöse gegenüberstellt, durchgeführt. Die Kosten berücksichtigen explizit auch ggf. zu optimierende Freigabeprozesse. Zur Akzeptanz der Projektergebnisse werden zusätzliche radiologische Betrachtungen im Zusammenhang mit der Freigabe durchgeführt. Nicht zuletzt die vollständige Ökobilanzierung rückt das Forschungsergebnis in einen ökologischen und gesellschaftlichen Gesamtkontext. Dies ist wesentlich, da abschließend eine Abschätzung des ökologischen und ökonomischen Potenzials der Verwertung von Technologiemetallen aus dem Rückbau von KKW in Deutschland vorgesehen ist.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Projekt unter Gesamtkoordination des Öko-Instituts soll mit den folgenden fünf Arbeitspaketen durchgeführt werden:

AP 1: Identifizierung von Anlagenteilen und Komponenten mit hohem Recyclingpotential

AP 1.1: Indizien für hohe Gehalte an Speziallegierungen und Technologiemetallen in Anlagenteilen und Komponenten

AP 1.2: Einteilung der Komponenten und Materialgruppen nach ihrer Herkunft aus Strahlenschutzbereichen und konventionellen Bereichen des Kraftwerks

Das Öko-Institut koordiniert inhaltlich die Arbeiten in AP 1 und ist zuständig für die umfangreichen Erfassungen der verfügbaren Informationen über Recherchen in Fachliteratur, Interviews bei EnBW sowie Zulieferern. Die gesammelten Erkenntnisse aus AP 1 sollen auf einer Meilensteinveranstaltung unter Teilnahme von Vertretern des Projektträgers vorgestellt und diskutiert werden.

AP 2: Inventarerhebung Technologiemetalle KKW Philippsburg 1 und 2

AP 2.1: Demontagestudien

AP 2.2: Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung von Komponenten

Das Öko-Institut unterstützt die federführenden Partner für AP 2 bei den Arbeiten.

AP 3: Ermittlung des intrinsischen Materialwerts

AP 3.1: Skizzierung der Verwertung der Materialgruppen und Ableitung Recyclingpotenziale

AP 3.2: Einteilung der Komponenten mit Technologiemetallen in verwertbare Materialgruppen

Das Öko-Institut unterstützt die federführende Electroycling GmbH bei der Ableitung der Recyclingpotenziale sowie der Einteilung der Komponenten mit Technologiemetallen in verwertbare Materialgruppen. Zur Durchführung eines Meilensteinworkshops wird das Öko-Institut die Koordination übernehmen und alle Partner entsprechend einbinden.

AP 4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und ökologische Betrachtung

AP 4.1: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

AP 4.2: Ökologische Betrachtung

AP 4.3: Feststellung notwendiger Optimierungen hinsichtlich Freigabeprozesse

Die Öko-Bilanz sowie die methodischen Betrachtungen zur Freigabe werden durch das Öko-Institut durchgeführt. Das Öko-Institut unterstützt die TUC bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, indem die optimierten Freigabeprozesse rückgespielt werden.

AP 5: Abschätzung ökologisches und ökonomisches Potenzial der Verwertung von Technologiemetallen aus dem Rückbau von KKW in Deutschland

Die Forschungspartner verbinden ihre Forschungsergebnisse unter Koordination des Öko-Instituts gemeinsam zu einer Synopse und skalieren diese anschließend auf: Hierbei werden ausgehend von den Ergebnissen aus dem Rückbau der untersuchten Anlagen KKP 1 und KKP 2 entsprechende Hochrechnungen vorgenommen. Es wird dabei bei der Hochrechnung ein konservatives und ein optimistisches Szenario berechnet.

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

Das Öko-Institut hat zur Etablierung eines regen Fachaustausches sowie zur Abstimmung formaler Prozesse einen 14-tägigen Jour-Fixe eingerichtet, führt diesen durch und hält die wesentlichen Ergebnisse protokollarisch fest.

Im Rahmen des AP 1.1 hat das Öko-Institut eine Liste von Komponenten erstellt, die systematisch zu bearbeiten ist. Diese Liste hat ein bereits beachtliches Detailniveau. Eine zweite Liste umfasst eine Reihe wichtiger Technologiemetalle und Speziallegierungen. Weiterhin hat das Öko-Institut mit dieser Liste eine Zusammenstellung der aktuellen Marktpreise für interessante Technologiemetalle den Projektpartnern zugänglich gemacht. Damit soll bei der Recherche ein Relevanzkriterium den Partnern vermittelt werden.

Im Rahmen des AP 1.2 hat das Öko-Institut methodisch an der Aktivierung von Metalllegierungen durch thermische Neutronen gearbeitet und die daraus abzuleitenden Schlussfolgerungen mit den Projektpartnern diskutiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Für das AP 1.1. findet am 1.9. ein Workshop in Philippsburg statt, der gemeinsam mit der EnKK vorbereitet und durchgeführt wird. Am 20.-21. September richtet das Öko-Institut das 1. Projekttreffen aus.

Für die weitere Systematisierung der Anlagenteile finden intensive Recherchearbeiten statt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bislang keine.

Berichtszeitraum: 01.05.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9428B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Clausthal - Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik	
Vorhabenbezeichnung: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) - Teilprojekt: Entwicklung von Recyclingstrategien und Identifizierung von ökonomischen Verwertungswegen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2021 bis 30.04.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 635.516,58 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: daniel.goldmann@tu-clausthal.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Am Standort Philippsburg mit den beiden Kernkraftwerken Philippsburg Block 1 und 2 werden derzeit Stilllegungs- sowie Rückbautätigkeiten intensiv vorbereitet oder sind bereits im Gange. An diesem Standort wird ein angewandtes Forschungsprojekt durchgeführt, das die Erhebung von Recyclingpotenzialen von Technologiemetallen und die Verbesserung der Recyclingpraxis dieser Metalle und Legierungen unter Berücksichtigung der strahlenschutzrechtlichen Freigabe zum Ziel hat. Hauptaugenmerk ist dabei zunächst die Identifikation bzw. die Vorauswahl besonders interessanter Anlagenteile und Komponenten, die im Verlauf des Forschungsvorhabens näher untersucht werden sollen.

Von Interesse sind gemäß den förderpolitischen Zielen des BMBF zum Recycling von wertvollen Metallen hierbei Anlagenteile, in denen aggressive Medien verwendet werden, hohe Drücke und Temperaturen herrschen sowie Mess- und Regelstrecken, Stromleitungen und Komponenten zur Stromumwandlung.

Zur Datenerhebung wird eine umfassende Fachliteraturrecherche im Internet durchgeführt. Außerdem werden Interviews auf der technischen Bearbeitungsebene des Kernkraftwerkbetreibers durchgeführt. Es soll im Weiteren davon ausgegangen werden, dass das zukünftige industrielle Recyclingverfahren im Anschluss an das behördliche Freigabeverfahren nach Strahlenschutzverordnung angeschlossen wird. Die Aufteilung in Bereiche im strahlenschutzrechtlichen Kontext ist aber aus diesen beiden Modellanlagen generalisierbar, was nicht zuletzt das Upscaling der Projektergebnisse ermöglicht.

Es folgen im weiteren Projektablauf die Erhebung der stofflichen Zusammensetzung und eine Erhebung des Inventars an wertvollen Technologiemetallen wie z.B. Kobalt, Zinn, Silber, Palladium, Gold und Rhodium. Es werden umfassende Demontagestudien und Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung von strahlenschutzrechtlich freigegebenen Komponenten durchgeführt, die eine technologische Weiterentwicklung der bestehenden Recyclingpraxis darstellt. Ein wichtiges Projektergebnis wird die Zusammenstellung der Verwertungswege der Materialgruppen sein, die relevante Speziallegierungen und Technologiemetalle enthalten. Dazu gehören die Bestimmung realistischer End-of-Life Recyclingpotenziale und eine Einteilung in verwertbare Materialgruppen. Dieses Ergebnis stellt einen Fortschritt des Standes der Wissenschaft dar, da solche Untersuchungen bislang nicht stattgefunden haben.

Ziel des Teilprojektes ist eine Erhebung der stofflichen Zusammensetzung der zuvor identifizierten Komponenten und eine anschließende Gehaltsermittlung der enthaltenen Technologiemetalle und Sonderlegierungen mithilfe von Demontagestudien. Basierend auf den

dabei gewonnenen Erkenntnissen und Daten werden komplette Demontageverfahren entwickelt. Für ausgewählte werkstofflich interessante Komponenten werden umfassende Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung sowie die chemische Analytik durchgeführt. Die bei den Untersuchungen entwickelten Demontage- und Aufbereitungsverfahren werden anschließend mittels einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bewertet und mit den Kosten sowie Erlösen der derzeitigen Entsorgungspraxis verglichen, um die Wirtschaftlichkeit einer umfangreicheren Demontage bzw. Aufbereitung mit dem Ziel der Sondermetallrückgewinnung zu ermitteln. Dafür werden die variablen und fixen Kosten von Demontage, Dekontamination, Aufbereitung und Entsorgung sowie die Erlöse für die Metallfraktionen bzw. Komponenten betrachtet.

Diese Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird in enger Abstimmung mit allen beteiligten Partnern für alle betrachteten Anlagenteile durchgeführt. Die Kosten berücksichtigen explizit auch ggf. zu optimierende Freigabeprozesse. Zur Akzeptanz der Projektergebnisse werden zusätzliche radiologische Betrachtungen im Zusammenhang mit der Freigabe durchgeführt. Nicht zuletzt die vollständige Ökobilanzierung rückt das Forschungsergebnis in einen ökologischen und gesellschaftlichen Gesamtkontext. Dies ist wesentlich, da abschließend eine Abschätzung des ökologischen und ökonomischen Potenzials der Verwertung von Technologiemetallen aus dem Rückbau von KKW in Deutschland vorgesehen ist.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Projekt unter Gesamtkoordination des Öko-Instituts soll mit den folgenden fünf Arbeitspaketen durchgeführt werden:

AP 1: Identifizierung von Anlagenteilen und Komponenten mit hohem Recyclingpotenzial

AP 1.1: Indizien für hohe Gehalte an Speziallegierungen und Technologiemetallen in Anlagenteilen und Komponenten

AP 1.2: Einteilung der Komponenten und Materialgruppen nach ihrer Herkunft aus Strahlenschutzbereichen und konventionellen Bereichen des Kraftwerks

AP 2: Inventarerhebung Technologiemetalle KKW Philippsburg 1 und 2

AP 2.1: Demontagestudien

AP 2.2: Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung von Komponenten

AP 3: Ermittlung des intrinsischen Materialwerts

AP 3.1: Skizzierung der Verwertung der Materialgruppen und Ableitung Recyclingpotenziale

AP 3.2: Einteilung der Komponenten mit Technologiemetallen in verwertbare Materialgruppen

AP 4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und ökologische Betrachtung

AP 4.1: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

AP 4.2: Ökologische Betrachtung

AP 4.3: Feststellung notwendiger Optimierungen hinsichtlich Freigabeprozesse

AP 5: Abschätzung ökologisches und ökonomisches Potenzial der Verwertung von Technologiemetallen aus dem Rückbau von KKW in Deutschland

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

Das Ziel des ersten Arbeitspakets AP 1 ist die Identifizierung und Vorauswahl der Anlagenteile und Komponenten, die aufgrund ihres hohen Recyclingpotenzials interessant sind und im Verlauf des Forschungsprojektes näher untersucht werden sollen. Für diese Auswahl findet eine Zuordnung hinsichtlich potenziell enthaltener Speziallegierungen und Technologiemetalle sowie generischer Anlageneigenschaften statt (AP 1.1). Zudem wird eine Einteilung der Materialgruppen und Komponenten bezüglich ihrer örtlichen Herkunft im Kernkraftwerk (Strahlenschutzbereich oder konventioneller Bereich) vorgenommen (AP 1.2). Dafür wurde und

wird federführend durch das Ökoinstitut mit Unterstützung der EnBW, Electrocyling und der TUC eine umfassende Recherche in der einschlägigen Fachliteratur vorgenommen sowie Expertengespräche durchgeführt, bspw. seitens der TUC mit Unternehmen für Metallrecycling und -handel, und anschließend dokumentiert. Die TUC hat daran anknüpfend mit der Recherche und Dokumentation bereits vorhandener Recyclingrouten der ausgewählten Materialien und Elemente begonnen.

In Anlehnung an die ersten Ergebnisse der Recherche führte die TUC eine Suche nach einem möglichen RFA-Handspektrometer durch, welches im Verlauf des Projektes für die Bestimmung der in den Komponenten und Anlagenteilen enthaltenen Materialien eingesetzt werden soll. Im Rahmen dessen wurden digitale Gerätevorstellungen einiger Anbieter durchgeführt.

Zur Abstimmung und Aufklärung über den aktuellen Stand wurden einstündige Jour-Fixe-Termin eingeführt, die im zweiwöchentlichen Abstand mit allen Projektpartnern durchgeführt werden. Die wesentlichen Ergebnisse werden durch das Öko-Institut protokolliert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im weiteren Vorgehen des AP 1 wird die Liste der Anlagenteile und Komponenten mit hohem Recyclingpotenzial auf Grundlage weiterer Recherchen, Gespräche und Dokumenteneinsichten vervollständigt. Die TUC wird an weiteren RFA-Gerätevorstellungen teilnehmen, ein RFA-Handspektrometer auswählen sowie die Bestellung vornehmen und die Liste der Recyclingrouten komplettieren. Die Arbeiten in AP 2 werden beginnen. Diese befassen sich mit der Erhebung der stofflichen Zusammensetzung der in AP 1 ausgewählten Komponenten und Anlagenteile. Die durchgeführten zweiwöchentlichen Jour fixe-Termine werden in Zukunft weitergeführt. Zudem sind ein erster Vor-Ort-Termin in Philippsburg und ein Projekttreffen in Darmstadt geplant.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bisher keine.

Berichtszeitraum: 01.05.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9428C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: EnBW Energie Baden-Württemberg AG	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) - Teilprojekt: Identifikation und Bereitstellung von Komponenten zur Untersuchung sowie Integration relevanter Ergebnisse zur Berücksichtigung im Rückbau	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2021 bis 30.04.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 281.475,32 €
Projektleiter/-in: Christian Kumm	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: c.kumm@kk.enbw.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Am Standort Philippsburg mit den beiden Kernkraftwerken Philippsburg Block 1 und 2 werden derzeit Stilllegungs- sowie Rückbautätigkeiten intensiv vorbereitet oder sind bereits im Gange. An diesem Standort wird ein angewandtes Forschungsprojekt durchgeführt, das die Erhebung von Recyclingpotentialen von Technologiemetallen und die Verbesserung der Recyclingpraxis dieser Metalle und Legierungen unter Berücksichtigung der strahlenschutzrechtlichen Freigabe zum Ziel hat. Hauptaugenmerk ist dabei zunächst die Identifikation bzw. die Vorauswahl besonders interessanter Anlagenteile und Komponenten, die im Verlauf des Forschungsvorhabens näher untersucht werden sollen.

Von Interesse sind gemäß den förderpolitischen Zielen des BMBF zum Recycling von wertvollen Metallen hierbei Anlagenteile, in denen aggressive Medien verwendet werden, hohe Drücke und Temperaturen herrschen sowie Mess- und Regelstrecken, Stromleitungen und Komponenten zur Stromumwandlung.

Zur Datenerhebung wird eine umfassende Fachliteraturrecherche im Internet durchgeführt. Außerdem werden Interviews auf der technischen Bearbeitungsebene des Kernkraftwerksbetreibers durchgeführt. Es soll im Weiteren davon ausgegangen werden, dass das zukünftige industrielle Recyclingverfahren im Anschluss an das behördliche Freigabeverfahren nach Strahlenschutzverordnung angeschlossen wird. Die Aufteilung in Bereiche im strahlenschutzrechtlichen Kontext ist aber aus diesen beiden Modellanlagen generalisierbar, was nicht zuletzt das Upscaling der Projektergebnisse ermöglicht.

Es folgen im weiteren Projektablauf die Erhebung der stofflichen Zusammensetzung und eine Erhebung des Inventars an wertvollen Technologiemetallen wie z.B. Kobalt, Zinn, Silber, Palladium, Gold und Rhodium. Es werden umfassende Demontagestudien und Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung von strahlenschutzrechtlich freigegebenen Komponenten durchgeführt, die eine technologische Weiterentwicklung der bestehenden Recyclingpraxis darstellt. Ein wichtiges Projektergebnis wird die Zusammenstellung der Verwertungswege der Materialgruppen sein, die relevante Speziallegierungen und Technologiemetalle enthalten. Dazu gehören die Bestimmung realistischer End-of-Life Recyclingpotenziale und eine Einteilung in verwertbare Materialgruppen. Dieses Ergebnis stellt einen Fortschritt des Standes der Wissenschaft dar, da solche Untersuchungen bislang nicht stattgefunden haben.

Ziel des Teilprojektes ist es, eine plan- und termingerechte Bearbeitung aller Arbeitspakete zu gewährleisten.

Der Tätigkeitsschwerpunkt der EnBW Kernkraft GmbH liegt in der Identifizierung von Bauteilen und Komponenten, die für eine nähere Untersuchung relevant sein könnten. Dies wird sowohl für den Reaktortyp Siedewasserreaktor (SWR, KKP1) als auch für den Druckwasserreaktor (DWR, KKP2) durchgeführt. Des Weiteren werden die relevanten Daten zu den Komponenten in Stück- und Werkstofflisten, Datenblättern, Anlagenbeschreibungen etc. recherchiert und zur Verfügung gestellt.

Im Anschluss werden die relevanten Bauteile und Komponenten gesichert und für eine Untersuchung bezüglich ihrer Recyclingfähigkeit und Rückgewinnungspotentials für Technologiemetalle bereitgestellt. Mit Ergebnis der Untersuchungen erfolgt eine Bewertung hinsichtlich des derzeitigen Abbau- und Freigabeprozesses sowie ggf. eine Optimierung der Prozesse.

In enger Abstimmung mit allen beteiligten Partnern wird für alle betrachteten Anlagenteile eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die Kosten und Erlöse gegenüberstellt, durchgeführt. Die Kosten berücksichtigen explizit auch ggf. zu optimierende Freigabeprozesse. Zur Akzeptanz der Projektergebnisse werden zusätzliche radiologische Betrachtungen im Zusammenhang mit der Freigabe durchgeführt. Nicht zuletzt die vollständige Ökobilanzierung rückt das Forschungsergebnis in einen ökologischen und gesellschaftlichen Gesamtkontext. Dies ist wesentlich, da abschließend eine Abschätzung des ökologischen und ökonomischen Potenzials der Verwertung von Technologiemetallen aus dem Rückbau von KKW in Deutschland vorgesehen ist.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Projekt unter Gesamtkoordination des Öko-Instituts soll mit den folgenden fünf Arbeitspaketen durchgeführt werden:

AP 1: Identifizierung von Anlagenteilen und Komponenten mit hohem Recyclingpotential

AP 1.1: Indizien für hohe Gehalte an Speziallegierungen und Technologiemetallen in Anlagenteilen und Komponenten

AP 1.2: Einteilung der Komponenten und Materialgruppen nach ihrer Herkunft aus Strahlenschutzbereichen und konventionellen Bereichen des Kraftwerks

Die EnBW gleicht ihrerseits die vom Öko-Institut erstellten Listen kontinuierlich mit den Daten der in den Anlagen verbauten Bauteilen und Komponenten ab und führt auch eigene Recherchen durch. Dies erfolgt in den Technischen Fachbereichen der EnBW einerseits in Einzelarbeit der Fachspezialisten andererseits in Experten-Interviews, die mit Unterstützung des Öko-Instituts durchgeführt werden.

AP 2: Inventarerhebung Technologiemetalle KKW Philippsburg 1 und 2

AP 2.1: Demontagestudien

AP 2.2: Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung von Komponenten

Die EnBW stellt hierfür Demontearbeiten in der Anlage vor und stellt Material- oder Komponentenproben zur Verfügung, die freigegeben wurden.

AP 3: Ermittlung des intrinsischen Materialwerts

AP 3.1: Skizzierung der Verwertung der Materialgruppen und Ableitung Recyclingpotenziale

AP 3.2: Einteilung der Komponenten mit Technologiemetallen in verwertbare Materialgruppen

Die EnBW unterstützt die federführenden Partner für AP 3 bei den Arbeiten.

AP 4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und ökologische Betrachtung

AP 4.1: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

AP 4.2: Ökologische Betrachtung

AP 4.3: Feststellung notwendiger Optimierungen hinsichtlich Freigabeprozesse

Die EnBW bringt hier Ihre Sicht und Erfahrung als Anlagenbetreiber ein und berät die übrigen Forschungspartner.

AP 5: Abschätzung ökologisches und ökonomisches Potenzial der Verwertung von Technologiemetallen aus dem Rückbau von KKW in Deutschland

Die Forschungspartner verbinden ihre Forschungsergebnisse unter Koordination des Öko-Instituts gemeinsam zu einer Synopse und skalieren diese anschließend auf: Hierbei werden ausgehend von den Ergebnissen aus dem Rückbau der untersuchten Anlagen KKP 1 und KKP 2 entsprechende Hochrechnungen vorgenommen. Es wird dabei bei der Hochrechnung ein konservatives und ein optimistisches Szenario berechnet.

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

Im Berichtszeitraum standen Aktivitäten der Projektstart-Phase wie das Kennenlernen der Projektbeteiligten, die Erläuterung des Arbeitsplans und der Zielsetzung des ersten Arbeitspaketes und erste Recherche-Tätigkeiten im Mittelpunkt. In einem zweiwöchigen Jour-Fix wurden fortlaufend die Ergebnisse der Literaturrecherche diskutiert. Hierbei hat die EnBW Ihre praktische Erfahrung aus dem Betrieb der Anlagen zum Abgleich zwischen Theorie und Praxis eingebracht.

Im Rahmen des AP 1.1 wurden die vom Öko-Institut identifizierten Komponenten gelistet und priorisiert und an die Technischen Fachbereiche der EnBW zur Bewertung hinsichtlich der Material- und Legierungsbestandteile weitergereicht. Die Liste wird kontinuierlich fortgeschrieben, präzisiert und ergänzt. Die Bewertung durch die EnBW dauert daher zum Berichtszeitpunkt an.

Im Rahmen des AP 1.2 hat das Öko-Institut seine Methodik der strahlenschutztechnischen Bewertung vorgestellt. Die EnBW hat diese Methodik auch intern mit den entsprechenden Fachbereichen ab und liefert Informationen zum Dekontaminations- und Entsorgungsprozess.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Für das AP 1.1. findet am 1.9. ein Workshop in Philippsburg statt, der gemeinsam mit dem Öko-Institut vorbereitet und durchgeführt wird. Am 20.-21. September richtet das Öko-Institut das 1. Projekttreffen aus.

Für die weitere Systematisierung der Anlagenteile finden intensive Abstimmungen mit dem Öko-Institut statt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.05.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9428D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Electrocycling GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (Retecka) – Teilprojekt: Ermittlung des intrinsischen Materialwerte	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2021 bis 30.04.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 95.331,37 €
Projektleiter/-in: Kevin Wille	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Kevin.wille@electrocycling.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Am Standort Philippsburg mit den beiden Kernkraftwerken Philippsburg Block 1 und 2 werden derzeit Stilllegungs- sowie Rückbautätigkeiten intensiv vorbereitet oder sind bereits im Gange. An diesem Standort wird ein angewandtes Forschungsprojekt durchgeführt, das die Erhebung von Recyclingpotentialen von Technologiemetallen und die Verbesserung der Recyclingpraxis dieser Metalle und Legierungen unter Berücksichtigung der strahlenschutzrechtlichen Freigabe zum Ziel hat. Hauptaugenmerk ist dabei zunächst die Identifikation bzw. die Vorauswahl besonders interessanter Anlagenteile und Komponenten, die im Verlauf des Forschungsvorhabens näher untersucht werden sollen.

Von Interesse sind gemäß den förderpolitischen Zielen des BMBF zum Recycling von wertvollen Metallen hierbei Anlagenteile, in denen aggressive Medien verwendet werden, hohe Drücke und Temperaturen herrschen sowie Mess- und Regelstrecken, Stromleitungen und Komponenten zur Stromumwandlung.

Zur Datenerhebung wird eine umfassende Fachliteraturrecherche im Internet durchgeführt. Außerdem werden Interviews auf der technischen Bearbeitungsebene des Kernkraftwerksbetreibers durchgeführt. Es soll im Weiteren davon ausgegangen werden, dass das zukünftige industrielle Recyclingverfahren im Anschluss an das behördliche Freigabeverfahren nach Strahlenschutzverordnung angeschlossen wird. Die Aufteilung in Bereiche im strahlenschutzrechtlichen Kontext ist aber aus diesen beiden Modellanlagen generalisierbar, was nicht zuletzt das Upscaling der Projektergebnisse ermöglicht.

Es folgen im weiteren Projektablauf die Erhebung der stofflichen Zusammensetzung und eine Erhebung des Inventars an wertvollen Technologiemetallen wie z.B. Kobalt, Zinn, Silber, Palladium, Gold und Rhodium. Es werden umfassende Demontagestudien und Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung von strahlenschutzrechtlich freigegebenen Komponenten durchgeführt, die eine technologische Weiterentwicklung der bestehenden Recyclingpraxis darstellt. Ein wichtiges Projektergebnis wird die Zusammenstellung der Verwertungswege der Materialgruppen sein, die relevante Speziallegierungen und Technologiemetalle enthalten. Dazu gehören die Bestimmung realistischer End-of-Life Recyclingpotenziale und eine Einteilung in verwertbare Materialgruppen. Dieses Ergebnis stellt einen Fortschritt des Standes der Wissenschaft dar, da solche Untersuchungen bislang nicht stattgefunden haben.

Die spezifische Zielsetzung des Teilprojektes der ECG im Projekt besteht größtenteils in der umfassenden Dokumentation und Analyse des vorhandenen Materialbestands, Durchführung entsprechender manueller Demontage, Zerlegungen sowie mechanischer Aufbereitungsversuche

und der Erarbeitung von Daten und Informationen hinsichtlich der Charakterisierung und Vermarktung gefundener Materialien.

In enger Abstimmung mit allen beteiligten Partnern wird für alle betrachteten Anlagenteile eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die Kosten und Erlöse gegenüberstellt, durchgeführt. Die Kosten berücksichtigen explizit auch ggf. zu optimierende Freigabeprozesse. Zur Akzeptanz der Projektergebnisse werden zusätzliche radiologische Betrachtungen im Zusammenhang mit der Freigabe durchgeführt. Nicht zuletzt die vollständige Ökobilanzierung rückt das Forschungsergebnis in einen ökologischen und gesellschaftlichen Gesamtkontext. Dies ist wesentlich, da abschließend eine Abschätzung des ökologischen und ökonomischen Potenzials der Verwertung von Technologiemetallen aus dem Rückbau von KKW in Deutschland vorgesehen ist.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Projekt soll mit den folgenden fünf Arbeitspaketen durchgeführt werden:

AP 1: Identifizierung von Anlagenteilen und Komponenten mit hohem Recyclingpotential

ECG unterstützt die Partner TUC und Öko-Institut bei der Identifizierung von Anlagenkomponenten bzw. Vorauswahl möglicher Materialquellen aus dem Rückbau. Hier unterstützt die ECG mit ihrer Kompetenz als Recycler und Erzeuger von Metallfraktionen aus dem Recycling von Elektroaltgeräten und solchen Komponenten.

AP 2: Inventarerhebung Technologiemetalle KKW Philippsburg 1 und 2

ECG unterstützt in diesem Teil mit Zerlege- und Aufbereitungsversuchen und arbeitet hier eng mit der TUC. Teilziel in diesem AP ist die Erarbeitung geeigneter Demontage- und Zerkleinerungsschritte zum Materialaufschluss und Erzeugung vermarktungsfähiger Sekundärrohstofffraktionen

AP 3: Ermittlung des intrinsischen Materialwerts

Federführung in diesem AP hat die ECG. Nach Ermittlung geeigneter Verfahren sind die erzeugten Produkte auf ihre Vermarktungsfähigkeit, Materialwert und den Einsatz in geeignete Folgebehandlungsprozesse zu bewerten. Die Bewertung kann sowohl auf der Komponentenebene als auch auf der Ebene erzeugter Fraktionen erfolgen.

AP 4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und ökologische Betrachtung

ECG unterstützt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Informationen aus den einzusetzenden Aufbereitungsprozessen

AP 5: Abschätzung ökologisches und ökonomisches Potenzial der Verwertung von Technologiemetallen aus dem Rückbau von KKW in Deutschland.

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

In den ersten Monaten des Projektes liegt der Schwerpunkt auf der Recherche bzw. Identifizierung von Anlagenkomponenten, welche interessante, wirtschaftskritische bzw. Ressourceneffiziente Eigenschaften besitzen bzw. Materialien beinhalten. Gleichzeitig wurde eine Bewertung durchgeführt, inwieweit eine radioaktive Kontamination bzw. deren Aktivität und Halbwertszeit sich auf eine Verwendbarkeit im Recycling bzw. der Rückführung in die Kreislaufwirtschaft Einfluss nimmt. Federführend sind hier die Projektpartner Ökoinstitut und EnBW. Electrocyling (ECG) kommentiert die bisherigen Ergebnisse und ergänzt diese in Projektmeetings bzw. in der für das Projekt eingerichteten Cloud.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Während sich ECG mit den Projektpartnern zur Recherche austauscht, liegt ein erster Arbeitsschwerpunkt bei der Besichtigung der KKW Philippsburg, welches im zweiten Halbjahr geplant ist. Hier soll ein Austausch mit Verantwortlichen vor Ort stattfinden. Schwerpunkt für die ECG ist die Recherche vor Ort und wie die Erfassung und Entsorgung stattfindet.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Derzeit keine

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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 Lanthanoide als natürliche Analoga für dreiwertige Actiniden untersucht. Damit können auf den etablierten Testflächen die Untersuchungen zur Nutzung verschiedener Baumarten mit einer Unterpflanzung in naturnahen mehrstöckigen Beständen eingesetzt werden, die wachstumsfördernde Nachhaltigkeit des Auftrags von Rendzina auf einem stark belasteten Substrat unter dem Einfluss der SM/R-Speziation und kolloidalen/nanopartikulären Phasen zu untersuchen. Es erfolgen zudem Erosionsbeobachtungen unter Weiterentwicklung automatisierter Erfassungssysteme sowie Biodiversitätsanalysen im Zusammenhang mit optimiertem Baumwachstum. Die Quantifizierung der Erträge und des SM/R-Transfers in die Pflanze erlaubt die Einordnung der angewandten Strategien zur Aufforstung mit Kurzumtriebsplantagen, die auf andere mit SM/R-kontaminierte Standorte übertragen werden kann.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

In 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 Inokulation konnte in diesem Jahr wieder plangemäß erfolgen. Die Nachhaltigkeit durch die fehlende Inokulation in 2020 zeigte zunächst kaum Veränderungen. Allerdings war der Neuaustrieb der im Dezember 2019 geernteten Bäume deutlich von den Zuwachsraten direkt nach der Pflanzung verschieden. Die zunächst sehr deutliche Dominanz der Erle ist nun weniger deutlich. Die Auswertung der Bestimmung der Bodenatmung, Mikrobiologie und Bonitur des Wachstums der Bäume sowie die Bestimmung der Beikräuter und Bodenanalysen konnte abgeschlossen werden.

(AP 2) Die Drohnen-Befliegung soll 2021 ein letztes Mal durch direkte Messung der Baumhöhen validiert werden. Die Analysen zur Aufnahme von Schwermetallen im Erntematerial wird fortgeführt (durch die hohe Probenzahl ist hier eine leichte Verzögerung eingetreten).

(AP 3) Zur Stickstofffixierung durch Actinorhiza wurden Wurzelproben entnommen und gezählt. Hierbei wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit gezeigt, dass 5 % Rendzina-Beigabe positiv wirkte, die Inokulation aber wenig (oder eher negativen) Einfluss auf die Bildung dieser Symbiose hatte. Der Austausch der Bodensonden konnte erfolgen. Aus Wasserproben konnte Stickstoff im Bodenwasser gezeigt werden. Die Analysen zu NTA und LC-OCD-OND konnten durch das vermehrte Wasserdargebot im Frühsommer 2021 ausgeweitet werden.

(AP 4) Schwermetalltolerante Pilze, *in vitro*-Systeme/Mikrokosmen, Hydrogeochemie incl. Kolloid-/Nanopartikelcharakterisierung, sowie SM/R-Speziation wurden weitergeführt und werden ausgewertet. (AP5) Ektomyorrhiza-Raten wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit bestimmt. Hier erfolgt zur Zeit die detaillierte Auswertung.

(AP 6) Auf den trockenen und nährstoffarmen Testflächen Erosionsplot und Plateauplot am Kanigsberg zeigt sich, dass die Kiefer den höchsten Zuwachs bringt. Die Bodenmikrobiologie wird weiter untersucht, um die hier gefundenen Veränderungen zu überprüfen.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 1: Die Nachhaltigkeit der Inokulation wird weiter vermehrt beobachtet. Wurzelhorizonte und Mykorrhizierungsrate sowie -diversität werden ausgewertet und mit chemischen Parametern zum Boden korreliert. Die Bonitur des Wachstums der Bäume wird auf den Kanigsberg ausgeweitet.

AP 2: Die nächste Validierung zur automatisierten Erfassung des Baumwachstums und der Bodenverlagerung ist für September 2021 geplant.

AP 3: Bodenwasseranalysen werden weiterhin durchgeführt, um den hohen N-Gehalt im Bodenwasser zu validieren und im Jahreslauf einzuordnen.

AP 4: Die Parameter werden weiterhin erfasst und ausgewertet, um Veränderungen im Jahresverlauf aufzuzeigen. Zusätzlich soll die Assoziation von SM/R mit spezifischen org. Fraktionen (aus der LC-OCD-OND) mittels ICP-MS analysiert werden.

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

AP 6: Wie beschrieben, soll die Zahl der Chlorophyll-Analysen verringert werden. Diese werden in 2021 besonders auf den Kanigsberg konzentriert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Abdulsalam O. 2021. Biological chemistry of ectomycorrhizal interactions. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Abdulsalam O, Wagner K, Wirth S, Kunert M, David A, Kallenbach M, Boland W, Kothe E, Krause K. 2021. Phytohormones and volatile organic compounds, like geosmin, in the ectomycorrhiza of *Tricholoma vaccinum* and Norway spruce (*Picea abies*). *Mycorrhiza* 31, 173-188.
- Dudeja SS, Kothe E. 2021. Bacterial endophytes: molecular interactions with their hosts. *J Basic Microbiol* 61, 475-505.
- Traxler L, Wollenberg A, Steinhauser G, Chyzhevskiy I, Dubchak S, Grossmann S, Günther A, Gupta DK, Iwanek K-H, Kirieiev S, Lehmann F, Schulz W, Walther C, Raff J, Kothe E. 2021. Survival of the basidiomycete *Schizophyllum commune* in soil under hostile environmental conditions in the Chernobyl Exclusion Zone. *J Hazard Mater* 403, 124002.
- Weibchen N. 2021. Kurzumtriebsplantagen zur Nutzung der schwermetallkontaminierten Flächen der ehemaligen „Gessenwiese“. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Wirth S, Freihorst D, Krause K, Kothe E. 2021. What role might non-mating receptors play in *Schizophyllum commune*? *J Fungi* 7, 399.
- Wirth S, Krause K, Kunert M, Broska S, Paetz C, Boland W, Kothe E. 2021. Function of sesquiterpenes from *Schizophyllum commune* in interspecific interactions. *PLoS One* 16, e0245623.
- Wirth S, Krause K, Kunert M, Broska S, Paetz C, Boland W, Kothe E. 2020. Function of sesquiterpenes from *Schizophyllum commune* in interspecific interactions. *PlosOne* 16, e0245623.
- Ziethe J. 2021. Antibiotika und Schwermetallresistenz bei Streptomyceten. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9414A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (IIP)	
Vorhabenbezeichnung: Verbund: Entwicklung eines benutzerfreundlichen kostenoptimierenden Planungswerkzeugs für kerntechnische Rückbauprojekte unter Berücksichtigung von Stoffströmen zur Ressourcenplanung (NukPlaRStoR) – Teilvorhaben: Methodische Konzeptionierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2019 bis 30.06.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 658.953,60 €
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Rebekka Volk	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: rebekka.volk@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

Durch das zu entwickelnde Planungswerkzeug wird ein möglichst optimaler Plan (hinsichtlich der Kosten oder der Zeit 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. REVK zur Reststoffverfolgung, Microsoft Project oder Oracle Primavera P6 EPPM zur Projektplanung) 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 erhält Schnittstellen zu Software, 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)

Das KIT hat das Planungswerkzeug im Berichtszeitraum um verschiedene Funktionalitäten erweitert, deren Relevanz sich aus Erfahrungen unseres Projektpartners RODIAS ergeben hat. Einige implementierte Funktionalitäten betreffen die Stoffstromplanung (AP 5); allgemeine Weiterentwicklungen wurden AP 7 zugeordnet. Unter anderem handelt es sich um folgende Funktionalitäten:

- Fehlschläge des Lösungsverfahrens: Aufgrund der mathematischen Komplexität des zugrundeliegenden Projektplanungsproblems kann nicht garantiert werden, dass das Planungswerkzeug zu jedem Projektdatensatz einen zulässigen Projektablaufplan berechnet. Das neue Konzept der Fehlschläge stellt in solchen Fällen detaillierte Informationen zu möglichen Ursachen zur Verfügung und erhöht somit die Benutzerfreundlichkeit des Planungswerkzeugs.
- Zeitliche Mindest- und Höchstabstände: Neben den bereits in der ersten Version des Planungswerkzeugs implementierten Vorrangbeziehungen, die den Start eines Projektvorgangs in Beziehung zum Ende eines vorangehenden Projektvorgangs setzen, können mit der neuen Funktionalität beliebige zeitliche Mindest- und Höchstabstände zwischen Projektvorgängen abgebildet werden.
- Minimierung der Ressourcenbeschaffungskosten: Neben der bereits in der ersten Version des Planungswerkzeugs implementierten Zielsetzung der Projektlaufzeitminimierung hat der Anwender durch die neue Funktionalität die Möglichkeit, das Projekt hinsichtlich einer Minimierung der Ressourcenbeschaffungskosten zu planen.

Zusätzlich zu den Funktionalitätserweiterungen hat das KIT Verbesserungen am Algorithmus für die Stoffstromplanung vorgenommen, beispielsweise indem zusätzliche Suchstrategien für das Optimierungsverfahren implementiert wurden. Die Leistungsfähigkeit und die Lösungsqualität des Algorithmus wurden umfangreich mit wissenschaftlichen Datensätzen getestet und dokumentiert (vgl. 6. Berichte und Veröffentlichungen). Damit konnte gezeigt werden, dass für umfangreiche Projektdatensätze mit mehr als 20.000 einzelnen Stoffströmen innerhalb weniger Sekunden eine zulässige Lösung gefunden werden kann und dass sich verschiedene Anwendungsfälle abbilden lassen (z. B. Unterbrechbarkeit der Stoffstrombearbeitung, lineare oder stufenweise Ein- und Auslagerungen).

Zudem hat das KIT Konzepte für AP 6 (Weiterentwicklung: Logistik) erarbeitet. Der Hauptfokus lag auf der optimalen räumlichen Ausnutzung der nuklearen Anlage während des Rückbaus für Bearbeitungs- und Lagerungsvorgänge. Hierzu wurde eine erste Version eines ganzzahlig linearen

Modells erstellt und als Python-Programm umgesetzt, welches dem Lösen räumlicher Planungsaufgaben dient. Das Programm bekommt als Eingabe die Vorgangspläne und Kosten/Aufwände je Raumnutzung und berechnet mithilfe des eingebundenen CPLEX-Solver von IBM die optimale Platzierung der verschiedenen Arbeitsstationen und Pufferlager sowie deren Transportwege. Des Weiteren können unterschiedliche, vorhandene Pläne bzw. Kostenparameter hinsichtlich ihrer Resultate miteinander verglichen werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammepunkten)

Das KIT sieht entsprechend der Projektplanung eine Weiterarbeit an AP 6 und AP 7 vor. Da die in den Teilarbeitspaketen 7.2, 7.3 und 7.4 zu entwickelnden Funktionalitäten bereits implementiert sind, liegt der Fokus auf dem Multi-Mode-Fall aus AP 7.1.

Daneben plant das KIT fortführende Arbeiten an AP 6, insbesondere an AP 6.1 und 6.2. Das vorhandene Modell soll dabei um verschiedene Aspekte erweitert und entsprechend im Python-Programm implementiert werden. Aktuell vorgesehen sind u.a. eine Erweiterung der räumlichen Planung in den dreidimensionalen Raum und das Ausbauen der Szenarioanalyse und die Integration von Prozessketten (bestehend aus den durchzuführenden Konditionierungsschritten und entsprechenden Produktkontrollmaßnahmen). Die Projektpartner wurden zudem hinsichtlich entsprechender Realdaten angefragt, um die Wirksamkeit des Programms testen zu können.

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

Das aus dem im Verbundvorhaben entwickelten Planungswerkzeug hervorgegangene Softwareprodukt „openZELOS“ wurde vom Projektpartner RODIAS in „OPTIRA“ umbenannt und auf den Maintenance OnlineDays (18. bis 21. Mai 2021) vorgestellt. Das KIT stellt den Projektfortschritt im Rahmen eines Plenarvortrags und einer schriftlichen Vortragsvollversion bei der diesjährigen KONTEC-Konferenz (25. bis 27. August 2021) vor. Eine wissenschaftliche Publikation befindet sich weiterhin beim European Journal of Operational Research im Review-Prozess. Daneben stellt das KIT die wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Stoffstromplanung an den Konferenzen IFORS 2021 (23. bis 27. August 2021) und OR 2021 (31. August bis 03. September 2021) vor. Das Projekt NukPlaRStoR hat zudem im Rahmen des 9. KIT-Innovationswettbewerbs NEULAND am 30.06.2021 in Karlsruhe den 3. Platz in der Kategorie Transferpreis errungen.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9414B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RODIAS GmbH (ehem. 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 €
Projektleiter/-in: Oliver Wagner	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Oliver.wagner@rodias.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. REVK zur Reststoffverfolgung, Microsoft Project oder Oracle Primavera P6 EPPM zur Projektplanung) 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)

Die RODIAS hat im Betrachtungszeitraum im Rahmen des AP4 (Entwicklung und Implementierung eines Adaptermodells zur Abbildung konkreter Schnittstellen) einen weiteren „Standard“-Adapter zum Datenaustausch mit dem Planungstool Oracle Primavera P6 erfolgreich abgeschlossen. Es zeigte sich in Gesprächen mit potenziellen Anwendern, dass die zusätzliche Anbindung des Oracle Primavera P6 absolut zielführend ist, da die Nutzung dieses Planungstools in der Nuklearindustrie weit verbreitet ist. Hierdurch verlängerte sich das AP4 um ca. 6 Monate.

Im Rahmen des AP 7.1 wurde zudem der „Multi-Mode-Fall“ weiterentwickelt sowie im Rahmen des AP 7.3 die Integration „nicht-erneuerbarer“ Ressourcen erfolgreich umgesetzt.

Im Rahmen des AP 5 wurde die Integration der Weiterentwicklung von Stoffströmen nahezu vollständig umgesetzt und befindet sich aktuell in der Testphase.

Im Rahmen des AP 7.4 ist die Integration von „kumulativen Ressourcen“ aktuell in Arbeit.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Bis Ende 2021 sind im Rahmen einer Erweiterung des AP 3 die Ergänzung der Zeitbeziehungen um beliebige zeitliche Mindest- und Höchstabstände zwischen Vorgängen und dem Projektstart bzw. Projektende geplant. Die Kostenoptimierung soll zudem um die Minimierung der Ressourcenbeschaffungskosten bei gegebener maximaler Projektlaufzeit sowie die präferierten Startzeiten um die Einbindung von „erwünschten“ Startzeiten in die Zielfunktion erweitert werden.

Es wird eine bikriterielle Optimierung durchgeführt, die die Berücksichtigung eines primären und eines sekundären Optimierungsziels ermöglichen wird.

Im Rahmen des AP5 wird eine Flexibilisierung des Lösungsverfahrens der Stoffstromplanung zur Vorbereitung auf Erweiterungen durchgeführt.

Zudem wird arbeitspaketunabhängig die serverseitige Bereitstellung einer Schnittstelle (API/Application Programming Interface) umgesetzt, um die Optimierung in IT-Prozesse automatisiert zu integrieren. Es werden Web Security Maßnahmen (Absichern der Webanwendung) sowie eine SaaS/Cloud-Fähigkeit der Lösung implementiert.

Weiterhin wird basierend auf dem Planungswerkzeug des KIT durch eine Kopplung desselben eine Multiprojektoptimierung, also eine Optimierung unter Einbeziehung mehrerer Projekte mit projektübergreifenden Ressourcen, umgesetzt.

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

Die RODIAS hat das aus dem im Verbundvorhaben entwickelten Planungswerkzeug hervorgegangene Softwareprodukt „OPTIRA“ auf der anwendernahen Fachkonferenz Maintenance OnlineDays (18.-20.05.2021) vorgestellt.

Die RODIAS plant weitere Präsentationen des OPTIRA in 2021 im Rahmen der Fachkonferenzen

- KONTEC 2021 (25.-27.08.21 Dresden)
- 5. Jahrestagung Rückbau (27.-28.09.21 Berlin)
- CAPEX 2021 (05.-06.10.21 Berlin)
- ICOND 2021 (19.10.-21.10.21 Aachen)

Das Förderprojekt NukPlaRStoR hat zudem im Rahmen des 9. KIT-Innovationswettbewerbs NEULAND am 30.06.21 in Karlsruhe den 3. Platz in der Kategorie Transferpreis errungen.

Eine wissenschaftliche Publikation durch den Projektpartner KIT ist in Vorbereitung bzw. wurde bereits beim European Journal of Operational Research eingereicht und befindet sich dort im Review-Prozess.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	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/-in: Prof. Dr. Ralf Lanwehr	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 zur Identifikation sinnvoller und für den Rückbau relevanter Kompetenzcluster
3. Überführung des Algorithmus in einen Prototypen

PK2 besteht aus drei Hauptphasen:

1. Evaluation der aktuellen Führungskultur
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 einer Hauptphase:

1. Entwicklung und Durchführung eines Job Crafting-Konzepts für Mitarbeiter:innen

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

Meilensteinplanung: Administration

Gemeinsam wurden eine Geheimhaltungsvereinbarung, ein Zusammenarbeitsvertrag und ein Datenschutzkonzept erarbeitet, um so die Grundlagen für die gemeinsame Arbeit zu schaffen. Die Vertragsunterzeichnung steht kurz vor dem Abschluss.

Komponente 1: KI-basierte Kompetenzmodellierung

Skill-Software und Datenbasis

Seitens der FH ist eine Software entwickelt worden, die es erlaubt, den Datenbestand des Personals bei RWE zu erfassen, zu modellieren und Kompetenzmodellierung mittels Datenvisualisierung zu ermöglichen. Darüber hinaus können Stellenprofile seitens RWE eingepflegt und abgeglichen werden mit dem Ziel, ein Person-to-Job fit zu realisieren: Welche Person ist für welche Aufgabe am geeignetsten.

Erster Einsatz der Software erfolgt am Kernkraftwerk Gundremmingen (KKW-G) in 08/09 2021. Hier ist vorgesehen, dass alle Mitarbeiter:innen am Standort im Rahmen eines Workshops zunächst ihre Daten in die Software einspeisen. Dieser Vorgang wird seitens der FH kuratiert. Anschließend werden die Daten zum FH-Server übertragen, ausgewertet und die Kompetenzmodellierung samt Ergebnis an RWE übergeben.

Weitere Bedarfsteller sind das KKW Biblis und das KKW Emsland, die nach dem erfolgreich durchgeführten Pilotprojekt im KKW-G folgen sollen.

Für die Umsetzung des Projekts wurden alle notwendigen Maßnahmen eingeleitet:

- Risk Assessment Cyber Security: Einschätzung und Mitigierung der Gefahren durch potenzielle Datenleaks
- Datenschutz: Welche personenbezogenen Daten dürfen erhoben werden und welche Maßnahmen zum Schutz dieser werden umgesetzt
- Data Security: Aufsetzen eines Datensicherheitskonzeptes zum Schutz vor Zugriff unbefugter Dritter

Die Applikation orientiert sich an den Konzepten und eine Demoversion der Software ist bereits lauffähig auf einem Server der RWE AG am Standort Gundremmingen implementiert.

Aufgrund der Beschaffenheit der Software und der Netzinfrastruktur ist die Übertragung auf die weiteren Standorte im Netz der RWE AG als unproblematisch anzusehen und wird entsprechend schnell umsetzbar sein.

Komponente 2: Paradoxe Führungsstile

Erhebung Führungskultur (Pre-Testung)

Die Fragebögen für die Ist-Analyse der Führungskräfte-Kultur am Standort Biblis sind fertiggestellt und die technischen Möglichkeiten für die Befragung wurden geschaffen. Weiter wurde hierfür eine Diagnostik zu Führungskräfte-Kultur (Selbst- und Fremdbild) vom Kern-Trafo Team entwickelt und RWE vorgestellt. In der ersten Augustwoche wird die Befragung dem Betriebsrat des Standortes Biblis vorgestellt. Sofern der Betriebsrat zustimmt, wird die Befragung

im September 2021 durchgeführt und Ende September/ Anfang Oktober seitens KernTrafo ausgewertet.

Grundlagentraining

Es wurde ein eintägiges Grundlagentraining für Mitarbeiter:innen in ihrer neuen Position als Führungskraft am Standort Biblis entwickelt und im März 2021 erfolgreich durchgeführt. Dieses Training wurde vor die zwei ersten Führungskräfte-Module mit den Inhalten "Flexibilisierende Führung" und "Persönlichkeit" geschaltet, um ein einheitliches Grundlagenwissen für die Teilnehmer:innen der Komponente 2 zu schaffen.

Komponente 3: Job Crafting

Obwohl die RWE Nuclear PK3 zunächst zurückgestellt hatte, wurde diese wieder in die Projektplanung integriert, da die Planung der PK1 und PK2 erfolgreich vorangeschritten sind. Die inhaltliche Konzeption ist abgeschlossen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Komponente 1:

Nach der Aufnahme der Daten in 08/09 2021 im KKW-G wird die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse am selben Standort erfolgen. Die folgenden Bedarfsteller sind die Standorte in Biblis und im Emsland. Die Software soll, bei entsprechender Datenlage, erweitert werden, dass sie Vorschläge unterbreiten kann, um den betroffenen Mitarbeiter:innen weitere Optionen aufzuzeigen. Sollte sich der Einsatz an den Standorten als zielführend ergeben, ist das Ausrollen auf weitere Bereiche innerhalb der RWE AG vorgesehen.

Komponente 2:

Es laufen zurzeit noch RWE interne Abstimmungen über die Teilnahme von internen Trainer:innen der RWE an den Projektkomponenten 2 und 3. Daher werden die Module "Flexibilisierende Führung" und "Persönlichkeit" aus PK2 auf jeweils zwei Trainingstermine aufgeteilt und die Gruppen auf diese verteilt. So haben die internen Trainer:innen die Möglichkeit, die Trainings mehrmals zu begleiten.

Derzeit laufen die Planungen für die Vorstellung dieser bei GBR- und BR-Sitzungen. Es ist geplant, die Führungskultur bei RWE am Standort Biblis an zwei Messzeitpunkten (vor und sechs Monate nach den geplanten Modulen) zu evaluieren. Damit die Führungskräfte ihre Einzelergebnisse für sich korrekt interpretieren und Handlungsansätze daraus ableiten können, ist geplant, die Erläuterungen der Ergebnisse zur Führungskultur in das Modul "Flexibilisierung Führung" zu integrieren (Oktober) und diese gemeinsam mit den Teilnehmenden zu besprechen.

Module "Flexibilisierende Führung" und "Persönlichkeit"

Die inhaltlichen Planungen der zwei Module "Flexibilisierende Führung" und "Persönlichkeit" aus PK2 sind in Arbeit. Zur Durchführung des Moduls "Persönlichkeit" ist eine Big 5 Testung notwendig. Diese wird Anfang August 2021 im Gesamtbetriebsrat der RWE Nuclear beantragt. Im Oktober und November finden die Module zu Komponente 2 statt. Jedes Modul hat einen Umfang von zwei Tagen und wird am Standort Biblis zweimal durchgeführt.

Train-the-Trainer

Um den Erfolg des damit verbundenen Train-the-Trainer-Elements sicherzustellen, werden die Module jeweils zweimal durchgeführt, um interne Trainer:innen der RWE Nuclear direkt in die Trainings integrieren zu können. Die Trainer:innen lernen die Konzepte vorab kennen und können in den Modulen bereits erste eigene Trainingserfahrung als Co-Trainer:innen sammeln um in der Folge erfolgreich an anderen Standorten von RWE trainieren können. Das KernTrafo Team der FH-SWF stellt zur Unterstützung der RWE internen Trainer:innen jeweils einen Trainerleitfaden sowie umfangreiche Schulungsmaterialien zur Verfügung.

Modul "Charisma"

Das Modul "Charisma" wird als freiwilliges Angebot standortübergreifend allen Führungskräften der RWE Nuclear angeboten. Voraussetzung für die Teilnahme am Modul Charisma werden eine Big 5 und eine IQ Testung sein. Die Konzeption des Moduls findet im Juli und September 2021 statt. Im Oktober 2021 werden 2-3 Pre-tests der Trainings (Probetraining unter realen Bedingungen) durchgeführt. Die eigentliche Durchführung des zweitägigen Basis Trainings findet im Februar 2021 statt. Im Anschluss an das Training erfolgt eine sechsmonatige Transferphase in der sowohl das Charisma der beteiligten Führungskräfte als auch dessen Wirksamkeit auf die Mitarbeitenden regelmäßig gemessen wird.

Erhebung Führungskultur (Post-Testung)

Die Post-Testung entspricht inhaltlich und technisch der Pre-Testung und wird ebenfalls am Standort Biblis durchgeführt. Hierfür wurde eine Diagnostik zu Führungskräfte-Kultur (Selbst- und Fremdbild) vom KernTrafo-Team entwickelt und RWE vorgestellt. In der ersten Augustwoche wird die Befragung dem Betriebsrat des Standortes Biblis vorgestellt. Sofern der Betriebsrat zustimmt, wird die Befragung im Juni 2022 durchgeführt.

Komponente 3:

Die Trainings der PK3 werden in den letzten zwei Septemberwochen stattfinden. Fünfzehn Teams am Standort Biblis erhalten jeweils ein eintägiges Training. Hier haben die einzelnen Teams die Möglichkeiten, ihre fortgeschrittene Zusammenarbeit in der Abteilung zu reflektieren und Grundlagen des Job Craftings zu erlernen und anzuwenden. Train-the-Trainer-Elemente für RWE interne Trainer:innen wie auch eine Einheit, in der die beteiligten Führungskräfte und Mitarbeiter:innen lernen, Elemente des Trainings eigenständig fortzusetzen, sind in das Training integriert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

- Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9426A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Ruhr-Universität Bochum – Fakultät für Psychologie	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken (Rückbaukompetenzen)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2020 bis 30.09.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 722.252,15 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Annette Kluge	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Annette.kluge@ruhr-uni-bochum.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Der Rückbau kerntechnischer Anlagen ist ein kontinuierlicher und den ganzen Standort umfassender Veränderungsprozess und dadurch gekennzeichnet, dass sich neben der Anlage auch die Anlagenorganisation in einem ständigen Wandel befindet. Die dadurch bedingte erforderliche Veränderung von Organisations- und Arbeitsprozessen führt aus arbeits- und organisationspsychologischer Perspektive zu veränderten und erhöhten Anforderungen an die Kompetenzen der Mitarbeiter/innen sowie der Führungskräfte. Das Projekt der Verbundpartner/innen der Ruhr-Universität Bochum, der Gesellschaft für Simulatorschulung und PreussenElektra hat das Ziel, diese veränderten Rollen in den Rückbauphasen durch Trainingsmaßnahmen, basierend auf einer wissenschaftlichen Vorgehensweise zur Trainingsentwicklung, zielgruppenorientiert zu entwickeln und zu unterstützen. Dieses übergeordnete Ziel lässt sich weiter in Forschungs- und umsetzungsbezogene Ziele untergliedern. Das Forschungsziel beinhaltet die Erfassung der genauen Bedarfe an Trainingszielen und -methoden für die hier vorliegende Form organisationaler Veränderung und im Hinblick auf Rollenveränderungen in Bezug auf Strahlenschutz-, Brandschutz-, Arbeitsschutz- und Rückbauzielen sowie den gleichzeitigen Aufbau der dafür benötigten Kompetenzen. Die auf dieser Grundlage entwickelten Maßnahmen sollen dann das Ziel unterstützen, den Rückbau sicherer und effizienter zu gestalten und das Betriebspersonal für die Herausforderungen des Strahlenschutzes, der Arbeitssicherheit sowie der Unfallverhütung generell zu sensibilisieren, sowie effizienz- und projektorientiertes Denken bei schnelleren und flexibleren Entscheidungswegen bei geringerer Regelungstiefe zu fördern. Die umsetzungsbezogenen Ziele umfassen die Implementierung von wissenschaftlich entwickelten und evaluierten Trainingsangeboten für das am Rückbau beteiligte Personal der Mitarbeiter/innen und Führungskräfte der Unternehmen (Betreiber und Fremdfirmen). Dabei sollen im Hinblick auf die antizipierten Entwicklungen der Digitalisierung in der Trainingswissenschaft und damit der zukünftigen Veränderungen von Trainingsmethoden die seminar-basierten Trainingsangebote um übungs- und erfahrungsbasierte Trainingsmethoden mit multimodalen Mixed Reality Anwendungen ergänzt werden.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Um der Vielseitigkeit des Themas (Nachbetrieb & Stilllegung, Abbau, Öffentlichkeitseinbindung, etc.) und dem Zusammenspiel der am Rückbau beteiligten internen Organisationseinheiten und externen Organisationen und Subunternehmen Rechnung zu tragen, gliedert sich das Vorhaben in vier Phasen:

- 1) Soll-/ Ist-Analyse
- 2) Zielgruppen- und zukunftsorientierte Maßnahmengestaltung
- 3) Maßnahmendurchführung
- 4) Maßnahmenevaluation und Bewertung der Wirksamkeit

Diese vier Phasen lassen sich weiter in 11 Arbeitspakete (AP) untergliedern:

- 1) Soll-/ Ist-Analyse:
 - AP 1: Interviews mit ca. 20 Führungskräften von PreussenElektra mit Rückbauerfahrung (Thema: Veränderung der Rolle von Führungskräften und allgemeine Mensch-Technik-Organisation Aspekte)
 - AP 2: Interviews mit 20-30 Mitarbeiter/innen sowie der Personalvertretung von PreussenElektra, die den Transitionsprozess erlebt haben (Thema: Veränderung der Mitarbeiter/innen-Rolle und allgemeine Mensch-Technik-Organisation Aspekte)
 - AP 3: Auswertung schriftlicher Dokumente (Unfallberichte, Incident Alerts) aus dem Bereich Arbeitsschutz von PreussenElektra sowie meldepflichtige Ereignisse
- 2) Zielgruppen- und zukunftsorientierte Maßnahmengestaltung
 - AP 4: Ableitung von Trainingszielen und -szenarien in Bezug auf Wissen, Fertigkeiten und Einstellungen der Mitarbeiter/innen und Führungskräfte für die unterschiedlichen Rückbauphasen
 - AP 5: Operationalisierung der Trainingsziele und erste Skizzierung der technischen und nicht-technischen Anforderungen an die digitalen Lernumgebungen
 - AP 6: Auswahl und Festlegung von Trainingsmethoden (Virtual Reality via Head Mounted Display, Tablet-basiert oder Monitordarstellung) und Trainingsmedien sowie Ausarbeitung der Trainingsunterlagen.
 - AP 7: Entwicklung der Trainingsdrehbücher und Implementierung der Lernumgebungen in Form multimodaler Anwendungen und Microlearning-Einheiten sowie Pretest der Trainingseinheiten für die Mitarbeiter/innen und Führungskräfte
- 3) Maßnahmendurchführung
 - AP 8: Pilotdurchführung der entwickelten seminar-basierten Trainingsmaßnahmen für die Mitarbeiter/innen der PreussenElektra, ergänzt durch multimodale Mixed Reality Anwendungen inkl. der Microlearning-Module zur Transfersicherung
 - AP 9: Pilotdurchführung der seminar-basierten Trainingsmaßnahmen für die Führungskräfte der PreussenElektra, ergänzt durch multimodale Mixed Reality Anwendungen inkl. der Microlearning-Module zur Transfersicherung
- 4) Maßnahmenevaluation und Bewertung der Wirksamkeit
 - AP 10: Die in AP 8 und 9 durchgeführten Trainings werden formativ und summativ zu verschiedenen Zeitpunkten während des Trainings und nach dem Training mit Bezug zu den Trainingszielen (AP 4 und 5) evaluiert
 - AP 11: Verbreitung der Ergebnisse auf Konferenzen und Kongressen

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

Im Berichtszeitraum wurde Projektphase 1) Soll-/ Ist-Analyse weitergeführt. Im Rahmen von AP 3 (Auswertung schriftlicher Dokumente (Unfallberichte, Incident Alerts) aus dem Bereich Arbeitsschutz von PreussenElektra sowie meldepflichtige Ereignisse) wurden 544 meldepflichtige Ereignisse (Zeitraum: 2012 bis 2020 aus insgesamt 28 Kernkraftwerken) sowie Safety Alerts und Ereignisse aus Monatsberichten von PreussenElektra (Zeitraum 2012-2020) ausgewertet. AP3 ist somit abgeschlossen. Es wurden weitere vorbereitende Maßnahmen für die Durchführung der Interviews mit Führungskräften (AP 1) sowie MitarbeiterInnen (AP 2) getroffen. Hierzu wurden

drei weitere „Expertengespräche“ mit rückbauerfahrenen Führungskräften und Mitarbeitern der PreussenElektra geführt. Alle Expertengespräche wurden transkribiert und ausgewertet. Auf Basis der Ergebnisse der Expertengespräche sowie der Dokumentenanalyse (AP 3) wurden rückbaurelevante Kompetenzfelder mit Bezug auf die Sicherheit im Rückbau identifiziert. Die Ergebnisse wurden in einem Ergebnisbericht zusammengefasst. Die abgeleiteten Kompetenzfelder bilden die Grundlage für die nun folgenden Interviews (AP 1 & 2). Für die Interviews wurden die benötigten Materialien zusammengestellt (z. B. Vorabinformation, Informierte Einwilligung, Interviewleitfaden, Stimulusmaterial). Eine Prüfung der Materialien und der geplanten Interviewdurchführung erfolgt am 06.07.2021 durch den Ausschuss für Informations- und Kommunikationstechnologien GBR PEL von PreussenElektra.

Der Steuerungskreis (bestehend aus Vertreter/Innen der Ruhr-Universität Bochum, der Gesellschaft für Simulatorschulung und der PreussenElektra) hat sich im Berichtszeitraum i. S. eines Jour Fixe fünf Mal (virtuell) getroffen zwecks Absprache und Monitoring der laufenden Aktivitäten. Darüber hinaus finden im Sinne einer möglichst engmaschigen Zusammenarbeit seit April zusätzliche Gespräche zur Koordination mit einer Mitarbeiterin der Ruhr-Universität Bochum und einer Mitarbeiterin seitens PreussenElektra statt. Insgesamt wurden drei dieser Gespräche geführt.

Zusätzlich fanden mehrere Gespräche zwischen der Ruhr-Universität Bochum und der Gesellschaft für Simulatorschulung (Besprechung möglicher Trainingsimplikationen, Planung Beschaffung Head Mounted Displays) sowie zwischen der Ruhr-Universität Bochum und der PreussenElektra (Absprache bzgl. der Verwendung vorhandener Gebäudemodelle für die Trainingsentwicklung)

Darüber hinaus wurde im Berichtszeitraum ein erster Prototyp für ein beispielhaftes Lernszenario für die Mixed Reality Trainingseinheiten erstellt (AP6).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Weiterarbeit orientiert sich an oben dargelegtem Arbeitsprogramm. Für den nächsten Berichtszeitraum (07/21 – 12/21) werden APs 1–4 abgeschlossen sowie die APs 5–7 durchgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Am 13.01.2021 wurde das Projekt durch Frau Prof. Dr. Kluge auf der 73. ST Sitzung im Ausschuss STILLEGUNG (ST) der Entsorgungskommission (ESK) vorgestellt.

Im September 2021 werden wir das Projekt auf der 12. Fachgruppentagung AOW-Psychologie und Ingenieurpsychologie 2021 vorstellen. Außerdem haben wir ein Abstract für die Teilnahme am interdisziplinären Forschungssymposium für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (safeND) des Bundesamtes für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) eingereicht.

Berichtszeitraum: 01.01.2021 bis 30.06.2021	Förderkennzeichen: 15S9426B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Gesellschaft für Simulatorschulung mbH	
Vorhabenbezeichnung: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2020 bis 30.09.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 19.315,26 €
Projektleiter/-in: Michael Aman	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: m.aman@ksg-gfs.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Es werden Schulungs- und Trainingseinheiten für die beiden Zielgruppen (Führungskräfte und Mitarbeiter/innen) in Form von Microlearning-Lerneinheiten im quelloffenen Kursmanagementsystem Moodle für die geplanten Management Level und betriebsfertige, kompilierte Mixed Reality Lerneinheiten für Mitarbeiter/innen aus dem operativen Umfeld mit verschiedenen Qualifikationen bereitgestellt.

Die im Projekt erarbeiteten Quelldateien dienen im Folgenden als Basis für Customizing wie standortspezifische Anpassungen und Internationalisierung. Dazu passend werden Handlungsempfehlungen für die Einrichtung der Mixed Reality Hard- und Software und das gewünschte Customizing erstellt.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Um dem vielschichtigen Vorhaben (Nachbetrieb & Stilllegung, Abbau, Öffentlichkeitseinbindung etc.) und dem Zusammenspiel der am Rückbau beteiligten internen Organisationseinheiten und externen Organisationen/Unternehmen Rechnung zu tragen, gliedert es sich in 4 Phasen:

- 1) Soll-/Ist-Analyse: Arbeitspakete (AP) 1-3
- 2) Zielgruppen- und zukunftsorientierte Maßnahmengestaltung: AP 4-7
- 3) Maßnahmendurchführung: AP 8+9
- 4) Maßnahmenevaluation und Bewertung der Wirksamkeit: AP 10+11

Die 4 Phasen gliedern sich in 11 Arbeitspakete.

AP 1: Interviews mit ca. 20 Führungskräften von PreussenElektra mit Rückbauerfahrung.

AP 2: Interviews mit 20-30 Mitarbeiter/innen sowie der Personalvertretung von PreussenElektra, die diesen Transitionsprozess erlebt haben.

AP 3: Auswertung schriftlicher Dokumente wie Unfallberichte und „incident alerts“ (ca. 10-15 pro Jahr) sowie weiterer Berichte (Arbeitsschutz PreussenElektra/meldepflichtige Ereignisse).

AP 4: Ableitung von Trainingszielen und -szenarien in Bezug auf Wissen, Fertigkeiten und Einstellungen der Mitarbeiter/innen und Führungskräfte für die unterschiedlichen Rückbauphasen.

AP 5: Operationalisierung der Trainingsziele, die ebenso relevant sind für die Ableitung von formativen und summativen Evaluationsinstrumenten.

AP 6: Festlegung von Trainingsmethoden/Trainingsmedien (Virtual Reality Darstellung mit Datenbrille, Tablet-basierter oder Monitordarstellung) sowie Ausarbeitung der Trainingsunterlagen (Ziele s. AP 4).

AP 7: Entwicklung d. Trainingsdrehbücher und Implementierung der Lernumgebungen in Form der multimodalen Anwendung und der Microlearning-Einheiten sowie Pretest.

AP 8: Pilotdurchführung: Seminar-basierte Trainingsmaßnahmen Mitarbeiter PEL, ergänzt d. multimodale Mixed Reality Anwendungen (10x2 Tage) Trainings mit jeweils 12 Teilnehmer/innen) inkl. Microlearning-Module zur Transfersicherung.

AP 9: Pilotdurchführung (4x 2 Tage) Führungskräfte PEL.

AP 10: Evaluation der in AP 8 und 9 durchgeführten Trainings.

AP 11: Verbreitung der Ergebnisse auf Konferenzen und Kongressen.

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

Im Berichtszeitraum wurde die Phase 1 weiter verfolgt (AP 1 bis AP 3).

AP 3 ist abgeschlossen.

AP 1 ist momentan in der Durchführung.

Im AP 2 wurden Vorbereitungen zu den einzelnen Interviews getätigt.

Die Tätigkeit zu AP1 bis AP 2 wurden ausschließlich von den Projektpartnern durchgeführt. Die GfS war nur beratend tätig. Aufgrund der anhaltenden Pandemie wurde weitgehend auf Präsenztreffen verzichtet. Beratung und Informationsaustausch fanden überwiegend online statt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die geplante Weiterarbeit umfasst die Fortführung der Phase 1 (AP 2).

Hierbei wird die GfS weiterhin beratend tätig sein und aufgrund des Wissens und der Erfahrung mit der Kernenergiebranche und dem Rückbau der Anlagen die Ergebnisse der Phase 1 evaluieren.

Im Anschluss beginnt die Phase 2, in welcher die Trainingsziele und die geeignetsten Trainings-Szenarien & -Methoden ermittelt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Das Projekt hat Bezug zu den bereits vorhandenen Trainings im Bereich Human Factors und des Professionellen Handelns. In diesen Bereichen verbessern wir uns ständig und beschreiten neue Wege. Zu diesen Innovationen gehört auch das FORKA-Projekt.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Seitens der GfS sind noch keine Berichte und Veröffentlichungen erstellt worden.

**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