

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
1. Januar - 30. Juni 2022

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 2022

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 (Bekanntmachung der Förderrichtlinie zum Förderkonzept FORKA von 2021). 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.	Zerlege- und Dekontaminationsverfahren	
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
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	12
15S9416B	Verbundvorhaben: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster	15
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	18
15S9416D	Verbundvorhaben: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) - Teilprojekt: Praxisversuche und Verifizierung	21
15S9418A	Verbundvorhaben: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau (LaDeco) – Teilprojekt: Ermittlung von Sekundäremissionen bei der laserbasierten Dekontamination und Praxiserprobung	23
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	26
15S9421A	Verbundvorhaben: Robotergestützte Bearbeitung von Baugruppen beim Rückbau von Kernkraftwerken - Teilprojekt: Verfahrenstechnik und Engineering	29
15S9421B	Verbundvorhaben: Robotergestützte Bearbeitung von Baugruppen beim Rückbau von Kraftwerken; Teilprojekt: Autonome Digitalisierung und Entschichtung von Baugruppen	32
15S9424	Produktives Seilschleifen von Stahl durch modellbasierte Prozessauslegung	36
15S9425A	Verbundvorhaben: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung Teilprojekt: Parametervalidierung zum Tiefenschnitt von hochbewehrtem Stahlbeton und Erprobung eines neuartigen Anbaugeräts zur Rissüberfräsung kontaminierter Wandstrukturen	40
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	44
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	47
15S9429A	Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil) – Teilprojekt: Simulationsbasierte Werkzeugauslegung und Untersuchung des Einsatzverhaltens	50
15S9429B	Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie - Teilprojekt: Bindungs- und fertigungsspezifische Seilschleifwerkzeugentwicklung	54
15S9429C	Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil) - Teilprojekt: Einfluss der Verwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung auf die im industriellen Rückbau verwendete Maschinentechologie	58

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
15S9429D	Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifwerkzeuge mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil).- Teilprojekt: Anwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung im industriellen Rückbau.	61
15S9429E	Verbundvorhaben: „Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil).“ Teilprojekt: "Auslegung und Herstellung neuartiger Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schneidstoffanordnung."	63
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	66
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	70
15S9434A	Verbundvorhaben: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA); Teilvorhaben: Entwicklung von Werkzeugen zur In-Situ-Analyse von Betoneigenschaften, Radionukliden und hydraulischer Loch-zu-Loch-Permeabilität sowie Befundkartierung	74
15S9434B	Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus; Teilvorhaben: Analytik für die Beprobung von Beton	78
15S9434C	Gesamtvorhaben: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA); Teilvorhaben: Elektronische Ergebnisdokumentation, Beprobungsplanung und Wissensmanagement	80
02.	Freigabeverfahren und konventionelle Entsorgungswege	
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	83
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	86
15S9412	Wege zum effizienten Rückbau von Reaktorkomponenten und Betonabschirmung: Berechnung des Aktivitätsinventars und deren Validierung an Bohrkernen sowie Mobilitätsuntersuchungen von Radionukliden	89
15S9431A	Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie - TEILPROJEKT: Gerätebau und -entwicklung	92
15S9431B	Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, Teilprojekt Bildrekonstruktionsverfahren	96
15S9431C	Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, Richtungs aufgelöster In-Situ-Gammaspektrometrie (QGRIS) TEILPROJEKT: Experimentelle Untersuchungen und Simulation	98
15S9431D	Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie Teilprojekt: Qualifizierung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen	103

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
03.	Behandlung radioaktiver Abfälle	
15S9407A	Verbundprojekt: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit - Teilprojekt: Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Konditionierungsverfahren mit Nuklidseparation zur Volumenreduktion	105
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	108
15S9410A	Verbundvorhaben: Charakterisierung und Quantifizierung von C-14 in Reaktorgraphit mittels Beschleuniger-Massenspektrometrie - Teilprojekt: Optimierung der Entscheidungsmessung und Freigabemengen	111
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	115
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	118
15S9413B	Verbundvorhaben: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung von radioaktiv kontaminierten Zementstein mittels elektrohydraulischer Fragmentierung	121
15S9423A	Verbundprojekt: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilprojekt: Durchführung der Versuche mit inaktivem Probenmaterial	123
15S9423B	Verbundprojekt: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilprojekt: Durchführung von Versuchen mit radioaktivem Probenmaterial	126
15S9428A	Verbundprojekt: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) - Teilprojekt: Projektkoordination sowie ökologische und radiologische Bewertungen	129
15S9428B	Verbundvorhaben: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) - Teilprojekt: Entwicklung von Recyclingstrategien und Identifizierung von ökonomischen Verwertungswegen	133
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	137
15S9428D	Verbundprojekt: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) – Teilprojekt: Ermittlung des intrinsischen Materialwerte	141
15S9433A	VP: Weiterentwicklung u. Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagergerechten Konditionierung C-14-belasteter flüssiger organischer Abfälle mit C-14-Recycling auf Basis der elektrochemischer Totaloxidation; TP: Weiterentwicklung u. Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Fraktionierung des Anodengases	144
15S9433B	VP: Weiterentw. und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagergerechten Konditionierung C-14-haltiger flüss. org. Abfälle - TP: Weiterentwicklung des Verfahrens zur totzeitarmen C-14 Bestimmung mittels Flüssigszintillation und Untersuchungen zur Freimessung von C-14-Rückständen n. elektrochemischer Behandlung	146
15S9433C	VP: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagergerechten Konditionierung C14-belasteter flüssiger organischer Abfälle - TP: Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Isotopentrennung zur Rückgewinnung von C14	148

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
04.	Abfalldeklaration und Zwischenlagerung	
15S9406A	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Entwicklung und Bau der Messanlage	150
15S9406B	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Methoden- und Softwareentwicklung	153
15S9406C	Verbundprojekt: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) - Teilprojekt: Online-Messungen des Neutronenflusses	156
15S9411	Verbesserung der quantitativen Datenauswertung für die zerstörungsfreie Charakterisierung radioaktiver Behälter und Objekte	158
15S9420	Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebände (EMOS)	161
15S9422A	Verbundprojekt: Virtual REmote RObotics for Radiometric Sorting, Teilprojekt: Intuitive VR/AV Multi- Robotersteuerung für ein anwendungsnahes Rückbauszenario	165
15S9422B	Verbundprojekt: Virtual REmote RObotics for Radiometric Sorting (VIRERO) Teilprojekt: Ortsaufgelöste radiologische Charakterisierung zur Sortierung	168
15S9422C	Verbundprojekt: Virtual REmote RObotics for Radiometric Sorting (VIRERO) Teilprojekt: Immersives, lernfähiges Teleoperationssystem und autonome Roboterfähigkeiten	171
15S9432	Forschungsarbeiten zur Entwicklung eines bildgebenden, zerstörungsfreien Analyse- und Deklarationsverfahrens für radioaktive Abfallgebände, basierend auf lasergetriebenen Neutronenquellen	175
05.	Umwelt- und Strahlenschutz	
15S9417	Umsetzung von Schwermetall-Landfarming zur nachhaltigen Landschaftsgestaltung und Gewinnung erneuerbarer Energien auf radionuklidbelasteten Flächen: Optimierungsstrategien (USER-II)	179
06.	Mensch und Organisation	
15S9414A	Verbundvorhaben: Entwicklung eines benutzerfreundlichen kostenoptimierenden Planungswerkzeugs für kerntechnische Rückbauprojekte unter der Berücksichtigung von Stoffströmen zur Ressourcenplanung (NukPlaRStoR) - Teilprojekt: Methodische Konzeptionierung	182
15S9414B	Verbundvorhaben: Entwicklung eines benutzerfreundlichen kostenoptimierenden Planungswerkzeugs für kerntechnische Rückbauprojekte unter der Berücksichtigung von Stoffströmen zur Ressourcenplanung (NukPlaRStoR) Teilprojekt: Benutzeroberfläche und Schnittstellen	185
15S9419	Transformationskonzept für Personal von Kernkraftwerken im Rückbau (KernTrafo)	188
15S9426A	Verbundprojekt: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken (Kurztitel „Rückbaukompetenzen“)	196
15S9426B	Verbundprojekt: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken (Kurztitel „Rückbaukompetenzen“)	199

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 31.12.2022	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. 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)

AP6: Praktische Testreihe (2. Versuchsreihe)

Um den Prototypen von NIS am Versuchstand des KIT-TMB testen zu können, wurde ein zweiter Versuchstand konstruiert und hergestellt. Hierzu mussten Angebote für die einzelnen Komponenten eingeholt und nach Auswahl der Bauteile die Bestellung in die Wege geleitet werden. Entgegen den bisherigen Überlegungen wurde nicht der bisherige Versuchstand umgebaut, sondern ein zweiter Rahmen (ähnlich wie der Rahmen des bisherigen Versuchstandes) für die Anbringung des Prototypens gebaut. Grund hierfür war, dass die Umbauten auf eine Rohrlänge von anstatt 0,5m auf 1,5m aufgrund der verbauten Sensorik und Antriebsmotoren mit mehr Arbeit verbunden war als bisher angenommen. Ein weiterer Punkt ist, dass wir seitens des KIT-TMB durch die verspätete Fertigstellung des Prototypens von NIS, ein zusätzliches Zeitfenster für ergänzende Versuche der ersten Testreihe und zur Vorbereitung der zweiten Testreihe bekommen haben. Auf diese Weise konnte der Rahmen für den zweiten Versuchstand in Zusammenarbeit mit unserem Werkstattmitarbeiter gefertigt werden, während parallel hierzu am bisherigen Versuchstand ergänzende Parameter durch weitere Versuche untersucht werden konnten. Die Kosten für die Position „Versuchstand“ wurden durch die Änderungen nicht überschritten. Aktuell befindet sich der Versuchstand in den letzten Zügen der Montage und ist vor Eintreffen des Prototypens fertig gestellt.

Des Weiteren haben wir uns in Abstimmung mit NIS für einen Mobilkran zur Halterung des Prototypens entschieden. Dieser ist bereits am TMB vorhanden und wurde montiert und getestet. Parallel hierzu haben sich die beiden Projektpartner Gedanken zu der Auswahl und Anbringung der Sensorik am Prototypen gemacht. Die Sensorik ist notwendig, um die Ergebnisse der ersten Testreihe mit denen der zweiten vergleichen zu können. Nach aktuellem Stand werden Dehnungsmesstreifen favorisiert. Eine finale Auswahl kann jedoch erst nach Zusammenbau des Prototypens und Montage am Versuchstand des TMBs erfolgen.

Ebenfalls wurden im ersten Halbjahr in 2022 Rohre mit einer Länge von 1,5m ausgewählt und bestellt. Aufgrund der wirtschaftlichen Situation ist die Verfügbarkeit der Rohre aktuell sehr eingeschränkt und die Preise sind exorbitant gestiegen. Daher wurden bisher nur zwei Rohre bestellt. Nach Überprüfung der Funktionalität des Prototypens und des Versuchstandes werden weitere Rohre beschafft. Die Lieferung ist bereits erfolgt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP6: Praktische Testreihe (2. Versuchsreihe)

Nach Abstimmung mit NIS soll das von NIS entwickelte Demonstrator-System auf August 2022 fertiggestellt werden können. Anschließend wird dieser am Versuchstand des TMBs angebracht und die Funktionalität des Prototypens als auch des Versuchstandes mittels der praktischen Testreihe (2. Versuchsreihe) überprüft. Falls notwendig müssen ev. kleine Umbauten am Versuchstand oder Optimierungen am Prototypen durchgeführt werden. Zudem muss die geeignete Sensorik zur Aufzeichnung der Kräfte ausgewählt, angebracht und getestet werden.

Nach der Überprüfung des Versuchstandes und des Prototypens wird eine umfangreiche zweite Versuchsreihe, bei welcher u.a. die Kräfte, Momente und Wärmeentwicklung

aufgezeichnet und anschließend ausgewertet werden sollen, durchgeführt. Zudem werden die erzeugten Schnitte im Rohr mit einem Profils Scanner untersucht und der Verschleiß der Trennwerkzeuge wie auch die Spanbildung untersucht. Die erzielten Ergebnisse werden anschließend mit den Ergebnissen der ersten Versuchsreihe verglichen und die bestmöglichen Parameter (Drehzahl, Vorschub) für den Prototypen definiert.

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

In AP10 werden die in AP6 erzielten Messergebnisse und die Einsetzbarkeit des von NIS entwickelten Prototypens durch Praxisversuche verifiziert. Hierzu muss in Abstimmung mit RWE die Auswahl geeigneter Räumlichkeiten bzw. Rohrleitungen in einer kerntechnischen Anlage erfolgen. Gegebenenfalls sind anschließend weitere Optimierungen am System notwendig.

AP11: Dokumentation

Parallel zu den aufgeführten Arbeiten muss in AP11 der Abschlussbericht zu RoTre erstellt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Auf dem Helmholtz Energy Young Scientists Workshop (30.05-31.05.2022, Frankfurt) wurde ein Poster zu den bisherigen Arbeiten am KIT und den erzielten Forschungsergebnissen innerhalb der durchgeführten Versuchsreihen präsentiert. Zudem wurde auf dem Young Scientists Workshop der Kerntechnik (21.06.-22.06.2022, Leipzig) ein Vortrag über das Forschungsvorhaben, den durchgeführten Versuchsreihen, sowie den gewonnenen Ergebnissen gehalten. Außerdem wurde innerhalb des FORKA-Doktoranden- und Statusseminar (23.05.-25.05.2022, Berlin) das Thema einer möglichen Promotion in RoTre präsentiert.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 31.12.2022	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, Zugänglichkeit und Material. Anfallende Späne oder andere Reststoffe sollen dabei kontinuierlich abgesaugt werden.

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)

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

Es wurden Angebote für die Norm- / Fertigungsteile des Prototyps (ausgelegt für Frässscheibe) eingeholt und die Bestellungen eingeleitet. Bedingt durch CORONA und den fortlaufenden Ukraine-Krieg kam es zunehmend zu Versorgungsengpässen und Verzögerungen in der Fertigung/ Lieferung. Vor allem die Lieferung der Fertigungsteile (Zahnräder) und elektrischen Bauteile ist unverhältnismäßig groß.

Aus diesem Grund konnte der geplante Zusammenbau nicht, wie ursprünglich geplant, in Q2/2022 stattfinden. Die Lieferung der elektrischen Bauteile (letzten Bauteile) wird für Mitte Q3/2022 erwartet, somit soll der Prototyp Ende Q3/2022 zusammengebaut und funktionsfähig sein (aktuelle Planung).

AP6: Praktische Testreihe (2. Versuchsreihe)

In Abstimmung mit dem KIT wurden die Anpassungen des Versuchsstands für die Praktische Testreihe geplant. Neben der Positionierung und dem Handling des Prototyps mit Hilfe eines Mobilkrans, wurde die notwendige Sensorik erörtert.

Die ersten praktischen Versuche können, nach aktuellem Stand, Anfang Q4/2022 in der Versuchshalle des KIT-TMB durchgeführt werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP9: Zusammenführung der Teilentwicklungen

Ein Großteil der Bauteile wird im Laufe des Juli 2022 geliefert werden. Der Zusammenbau erfolgt zeitnah im Technikum bei NIS und wird bis zur Lieferung der letzten Bauteile (Elektrik) Ende September abgeschlossen sein. Danach erfolgen der erste Funktionstest und der Transport in der Versuchshalle des KIT-TMB.

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

Die Einsetzbarkeit des montierten Prototyps wird durch Praxisversuche in der Versuchshalle des KIT-TMB verifiziert. Hierzu muss in Abstimmung mit RWE die Auswahl geeigneter Räumlichkeiten bzw. Rohrleitungen in einer kerntechnischen Anlage erfolgen. Gegebenenfalls sind anschließend weitere Optimierungen am System notwendig.

AP11: Dokumentation

Parallel zu den aufgeführten Arbeiten wird in AP11 der Abschlussbericht zu RoTre erstellt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9416A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Gotthard-Franz-Str. 3, Geb. 50.31, 76131 Karlsruhe	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont), Teilprojekt: Durchführung experimentelle Versuche und Auswertung an Versuchsmuster	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 31.12.2022	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: (01.11.20-31.05.22): Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster / Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 6: (01.12.21-31.01.22): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme der Versuchsmuster
- AP 7: (01.05.21-31.05.22): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster

AP 8: (01.06.22-30.09.22): Versuche vor Ort

AP 9: (01.10.22-31.12.22): 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

KIT-TMB unterstützt die CONTEC GmbH und die HTWG bei der Gehäuseanpassung des dritten Prototyps für die Versuche vor Ort. Mit Unterstützung der CONTEC GmbH wurden verschiedene Gehäuseanpassungen des ersten Prototyps konstruiert und getestet, um den ersten Prototyp für die Versuche vor Ort tauglich zu machen.

AP 6: Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme der Versuchsmuster

Die Montage des umgebauten zweiten Prototyps mit gleichläufigen Diamantscheiben und zwei Antrieben im Versuchsstand ist erfolgreich abgeschlossen. Um den vierten Prototyp im Versuchsstand untersuchen zu können, wurde der Versuchsstand nach den Anforderungen für die Versuche mit dem vierten Prototyp angepasst. AP 6 wurde mit der erfolgreichen Versuchsdurchführung mit dem vierten Prototyp abgeschlossen.

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

Die experimentelle Versuchsreihe (Beton C25/30) mit dem umgebauten zweiten Prototyp (gleichläufige Diamantscheiben und zwei Antriebe) und dem vierten Prototyp (oszillierendes Werkzeug mit verschiedenen Aufsätzen) ohne Absaugung und vollständiger Einhausung wurde auf der horizontalen Ebene und an der Innenkante erfolgreich durchgeführt.

Die Abtragstiefen von 5, 10 und 15 mm, die Vorschubgeschwindigkeiten von 10, 15 und 20 mm/s und zwei verschiedenen Vorschubrichtungen sind vorab für die Versuche mit dem umgebauten zweiten Prototyp (gleichläufige Diamantscheiben und zwei Antriebe) ausgewählt, um die Messparameter zwischen zwei unterschiedlichen Drehkonzepten und Vorschubrichtungen zu vergleichen.

Die Verschleiß- und Funktionalitätsuntersuchungen wurden mit dem vierten Prototyp (oszillierendes Werkzeug mit verschiedenen Aufsätzen) durchgeführt. Laut den Untersuchungsergebnissen ist der vierte Prototyp geeignet für den dünnschichtigen Betonabtrag. Es besteht noch Optimierungspotential bei der Geometrie verschiedener Aufsätze, um größere Abtragstiefen zu erreichen.

AP 8: Versuche vor Ort

Aktuell läuft noch die Vorbereitungsphase für die Versuche vor Ort. Unser Projektpartner sat. Kerntechnik schlägt das KKW Obrigheim für die Durchführung der Versuche vor Ort vor.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 5: Die ersten und dritten Prototypen inklusive der Einhausung und Halterung, die bei den Versuchen vor Ort (AP 8) eingesetzt werden sollen, werden evtl. noch optimiert.

AP 7: Die Vorversuche mit der Handbedienung werden für die Vorbereitung der Versuche vor Ort geplant, um die Ergonomie und Effizienz der Prototypen zu untersuchen. Die experimentelle Versuchsreihe mit Betongüte C30/37 und die weitere Analyse der Versuchsergebnisse werden auch geplant.

AP 8: Die Vorbereitung und Durchführung der Versuche vor Ort

AP 9: Wissenschaftliche Aufbereitung der durchgeführten Arbeit

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Veröffentlichungen:

05/2022 FORKA Doktoranden- und Statusseminar (Poster Präsentation)

Thema: Dissertation innerhalb des Projektes „EKont“: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen

05/2022 Helmholtz Energy Young Scientists Workshop (Poster Präsentation)

Thema: Development and testing of tools for a dry-mechanical decontamination of corners in nuclear facilities

06/2022 Kerntechnik 2022- Young Scientists Workshop (Vortrag)

Thema: Comparison of the performance parameters of the tools for a decontamination of corners

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 31.12.2022	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: (01.10.20-30.06.22): Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster/Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 6: (01.12.21-31.01.22): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme der Versuchsmuster
- AP 7: (01.04.21-31.05.22): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster

AP 8: (01.06.22-30.09.22): Versuche vor Ort

AP 9: (01.10.22-31.12.22): Dokumentation und Evaluation

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

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

Die Prototypen wurden im zweiten Halbjahr 2021 fertiggestellt. Für die Versuche vor Ort wurden Gehäuseanpassungen konstruiert und entwickelt, die dem dritten Prototyp erlauben unter prozesssicherer Absaugung kontaminiertes Material abzutragen. Auch der erste Prototyp wurde durch entsprechende Ergänzungen am Gehäuse für einen Abtrag in Innenkanten ergonomisch angepasst.

AP6 Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme der Versuchsmuster

AP 6 ist abgeschlossen. Es wurden entsprechende Anpassungen des Prüfstandaufbaus vorgenommen, um auch die oszillierenden Werkzeuge des vierten Prototyps untersuchen zu können.

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

Im ersten Halbjahr 2022 haben HTWG und KIT gemeinsam die Versuchsreihen zum Getriebe-Prototyp abgeschlossen. Außerdem wurden Untersuchungen mit oszillierenden Werkzeugen durchgeführt, die einem weiteren neuartigen Wirkprinzip entsprechen. Dabei wurden insbesondere Verschleiß- und Funktionsuntersuchungen mit den diamant-besetzten Werkzeugen unterschiedlicher Korngrößen durchgeführt.

Hierbei konnten erste Erkenntnisse gewonnen werden: Die oszillierenden Werkzeuge sind für den dünn-schichtigen Abtrag sowohl in Innenkanten als auch in Ecken geeignet. Es wurde außerdem Optimierungspotential in der Geometrie der Werkzeuge festgestellt, wodurch es möglich wäre, noch tiefer Beton abzutragen.

AP8 Versuche vor Ort

In Gesprächen mit der Firma sat. Kerntechnik stellte sich heraus, dass eine Erprobung vor Ort höchstwahrscheinlich im KKW Obrigheim möglich sein wird.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Bezüglich AP5: In Bezug auf AP7 und AP8 werden evtl. letzte Nacharbeiten an den Prototypen, die vor Ort eingesetzt werden sollen, durchgeführt.

Bezüglich AP7: In Vorbereitung auf die Versuche vor Ort (AP8) sind mit den nach AP5 optimierten Prototypen Vorversuche geplant, welche insbesondere die ergonomische und funktionale Eignung für den Einsatz in kerntechnischen Einrichtungen im Handbetrieb untersuchen sollen. Hierbei werden sowohl Staubemissionen unter Absaugung als auch allgemeine Handhabung und Einstellmöglichkeiten der handgeführten Geräte untersucht und verbessert.

Bezüglich AP8: In Absprache mit der sat. Kerntechnik wird ein Zeitraum festgelegt, indem Versuche „vor Ort“ (wahrscheinlich KKW Obrigheim) durchgeführt werden können. Sat. Kerntechnik, Contec, KIT-TMB und HTWG werden im Rahmen der Eignungsuntersuchung (AP7) die Prototypen sichten und letzte Verbesserungsvorschläge einbringen, bevor die Versuche vor Ort starten können. Dabei ist insbesondere das Ziel, dass die Geräte nach der Praxiserprobung im Handbetrieb erfolgreich freigemessen werden können.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

08/2021	KONTEC Symposium 2021
09/2021	DEM in Avignon
07/2022	Veröffentlichung in der Fachzeitung „Antriebstechnik“ 7/22 Zum Werkzeug und Patentanmeldung

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9416C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CONTEC – Maschinenbau & Entwicklungstechnik GmbH, Hauptstraße 146, 57518 Alsdorf	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) Teilprojekt: Detaillierung und Ausgestaltung der Versuchsmuster samt Einhausung mit Absaugung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 31.12.2022	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: (01.11.20-31.05.22): Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster / Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 6: (01.12.21-31.01.22): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme der Versuchsmuster
- AP 7: (01.05.21-31.05.22): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster

AP 8: (01.06.22-30.09.22): Versuche vor Ort

AP 9: (01.10.22-31.12.22): 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

CONTEC GmbH und die HTWG passen die Gehäuse des dritten Prototyps für die Versuche vor Ort an. Die CONTEC GmbH konstruierte und testete verschiedene Gehäuse des ersten Prototyps, um den ersten Prototyp für die Versuche vor Ort tauglich zu machen.

AP 6: Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme der Versuchsmuster

Die Montage des umgebauten zweiten Prototyps mit gleichläufigen Diamantscheiben und zwei Antrieben im Versuchsstand ist erfolgreich abgeschlossen. Um den vierten Prototyp im Versuchsstand untersuchen zu können, wurde der Versuchsstand nach den Anforderungen für die Versuche mit dem vierten Prototyp angepasst. AP 6 wurde mit der erfolgreichen Versuchsdurchführung mit dem vierten Prototyp abgeschlossen.

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

Die experimentelle Versuchsreihe (Beton C25/30) mit dem umgebauten zweiten Prototyp (gleichläufige Diamantscheiben und zwei Antriebe) und dem vierten Prototyp (oszillierendes Werkzeug mit verschiedenen Aufsätzen) ohne Absaugung und vollständiger Einhausung wurde auf der horizontalen Ebene und an der Innenkante erfolgreich durchgeführt.

Die Abtragstiefen von 5, 10 und 15 mm, die Vorschubgeschwindigkeiten von 10, 15 und 20 mm/s und zwei verschiedenen Vorschubrichtungen sind vorab für die Versuche mit dem umgebauten zweiten Prototyp (gleichläufige Diamantscheiben und zwei Antriebe) ausgewählt, um die Messparameter zwischen zwei unterschiedlichen Drehkonzepten und Vorschubrichtungen zu vergleichen.

Die Verschleiß- und Funktionalitätsuntersuchungen wurden mit dem vierten Prototyp (oszillierendes Werkzeug mit verschiedenen Aufsätzen) durchgeführt. Laut den Untersuchungsergebnissen ist der vierte Prototyp geeignet für den dünn-schichtigen Betonabtrag. Es besteht noch Optimierungspotential bei der Geometrie verschiedener Aufsätze, um größere Abtragstiefen zu erreichen.

AP 8: Versuche vor Ort

Aktuell läuft noch die Vorbereitungsphase für die Versuche vor Ort. Unser Projektpartner sat. Kerntechnik schlägt das KKW Obrigheim für die Durchführung der Versuche vor Ort vor.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 5: Die ersten und dritten Prototypen inklusive der Einhausung und Halterung, die bei den Versuchen vor Ort (AP 8) eingesetzt werden sollen, werden evtl. noch optimiert.

AP 7: Die Vorversuche mit der Handbedienung werden für die Vorbereitung der Versuche vor Ort geplant, um die Ergonomie und Effizienz der Prototypen zu untersuchen. Die experimentelle Versuchsreihe mit Betongüte C30/37 und die weitere Analyse der Versuchsergebnisse werden auch geplant.

AP 8: Die Vorbereitung und Durchführung der Versuche vor Ort

AP 9: Wissenschaftliche Aufbereitung der durchgeführten Arbeit

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Veröffentlichungen:

05/2022 FORKA Doktoranden- und Statusseminar (Poster Präsentation)

Thema: Dissertation innerhalb des Projektes „EKont“: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen

05/2022 Helmholtz Energy Young Scientists Workshop (Poster Präsentation)

Thema: Development and testing of tools for a dry-mechanical decontamination of corners in nuclear facilities

06/2022 Kerntechnik 2022- Young Scientists Workshop (Vortrag)

Thema: Comparison of the performance parameters of the tools for a decontamination of corners

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9416D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: SAT Kerntechnik GmbH, Vangionenstrasse 15, 67547 Worms	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) Teilprojekt: Praxisversuche und Verifizierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 31.12.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 541.108,80 €
Projektleiter/-in: Stefan Stemmler	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: stefan.stemmler@robur-group.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 v. Ecken, Kanten, Störstellen, 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: (01.11.20-31.05.22): Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster / Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP 6: (01.12.21-31.01.22): Zusammenführung und Endmontage der Teilsysteme der Versuchsmuster
- AP 7: (01.05.21-31.05.22): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster
- AP 8: (01.06.22-30.09.22): Versuche vor Ort
- AP 9: (01.10.22-31.12.22): Dokumentation und Evaluation

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

- Abstimmungen mit der Firma Contec, dem KIT und der HTWG (AP4-7)
- Austausch von Informationen, Dokumenten und Ideen
- Zuarbeit zu Berichten und Veröffentlichungen
- Beratungsleistungen für andere Projektteilnehmer
- Optimierung der Prototypen
- Besuch der KTG in Leipzig im Juni 2022 (Vorbereitung AP8)
- Fortführung des Rückbauprojektes im Kernkraftwerk Obrigheim (Vorbereitung AP8) mit dem Schwerpunkt der Vorbereitung der Praxisversuche vor Ort im September 22. Dies beinhaltet die Festlegung des Versuchsprogramm, Briefing der Mitarbeiter, und Abstimmung mit dem Betreiber.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 5: Die ersten und dritten Prototypen inklusive der Einhausung und Halterung, die bei den Versuchen vor Ort (AP 8) eingesetzt werden sollen, werden evtl. noch optimiert.

AP 7: Die Vorversuche mit der Handbedienung werden für die Vorbereitung der Versuche vor Ort geplant, um die Ergonomie und Effizienz der Prototypen zu untersuchen. Die experimentelle Versuchsreihe mit Betongüte C30/37 und die weitere Analyse der Versuchsergebnisse werden auch geplant.

AP 8: Die Vorbereitung und Durchführung der Versuche vor Ort (elektrische Prüfung der Maschinen, Begehung im Maschinenhaus des KWO, Ausstellung von Arbeitsscheinen durch den Betreiber, Versuche durchführen, Dokumentation erstellen).

AP 9: Wissenschaftliche Aufbereitung der durchgeführten Arbeit

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Veröffentlichungen:

05/2022 FORKA Doktoranden- und Statusseminar (Poster Präsentation)

Thema: Dissertation innerhalb des Projektes „EKont“: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen

05/2022 Helmholtz Energy Young Scientists Workshop (Poster Präsentation)

Thema: Development and testing of tools for a dry-mechanical decontamination of corners in nuclear facilities

06/2022 Kerntechnik 2022- Young Scientists Workshop (Vortrag)

Thema: Comparison of the performance parameters of the tools for a decontamination of corners

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.6.2022	Förderkennzeichen: 15S9418A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden, Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt LaDECO: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau Teilprojekt: Ermittlung von Sekundäremissionen bei der laserbasierten Dekontamination und Praxiserprobung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 31.12.2022	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: abgeschlossen
- 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: begonnen

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

TUD-2: Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen wurde die Bestimmung der Freisetzung von Partikeln für verschiedene Beschichtungen und für die Grundmaterialien mit dem gepulsten Nd:YAG- Laser CL150 abgeschlossen. Neben der Leistungsvariation des Lasers wurde der Einfluss der Pulsfolgefrequenz, der Scanfrequenz und Scanbreite untersucht. Parallel erfolgte die Beprobung der freigesetzten Partikel. Die Arbeiten wurden vollständig ausgewertet. Der Teilbericht ist in Arbeit.

TUD-3: Auf Basis der ermittelten Parametersätze für die Bearbeitung von blankem Edelstahl und blanken, verzinkten, oxidierten und mit Lack beschichteten Stahloberflächen wurden in einer eigens für die Versuche hergestellten Abtragsbox (Sicherung der Aktivität zum Transport der Proben in das Radionuklidlabor) die Untersuchungen zur Dekontamination von mit Co-60 beaufschlagten Proben fortgeführt und abgeschlossen. Die ermittelten Dekontaminationsgrade liegen für Edelstahl zwischen 90 und 95 %, für blanken Baustahl zwischen 65 und 91 %, für verzinkten Baustahl zwischen 98 und 99 %, für oxidierten Baustahl zwischen 93 und 96 % und für lackierten Baustahl bei ca. 99 %. Zusätzlich wurden zur Simulation gealterter und damit möglicherweise mikrorissbehafteten Lacke Mikrostrukturen in die Lackoberfläche und die Aktivität in diese eingebracht. Hier konnte ein Dekontaminationsgrad von 93 bis 98 % erreicht werden. Weiterhin wurde die Wiederfindungsrate der Aktivität in den Filtern erfasst. Diese beträgt zwischen 94 und 100 %. Es konnte nachgewiesen werden, dass sich der Rest an Aktivität an den Wandungen der Abtragbox bzw. an zu den Filtern führenden Rohrwandungen befindet. Wichtiges Resultat ist, dass nach dem Filter keinerlei Aktivität gemessen werden konnte.

Erste Ergebnisse liegen zur Dekontamination von Cs-137 vor. Hier zeigt sich, dass der Dekontaminationsgrad von 96 bis 100 % deutlich höher.

Zur Vorbereitung der Verfahrensdemonstration an der KTE wurden mit Hilfe der KTE eine „Persönliche Schutzausrüstung“ entwickelt und besorgt, die Schutz sowohl vor radioaktiver Strahlung als auch vor Laserstrahlung bietet. Alle notwendigen Schulungen, die im Vorfeld durchzuführen waren, wurden abgeschlossen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

TUD-1: keine

TUD-2: Beendigung des Teilberichts

TUD-3: In enger Zusammenarbeit mit dem Radionuklidlabor der TU Dresden wird die Dekontamination der 5 verschiedenen Oberflächenarten mit Cs-137 fortgeführt und auf Am-241 und Sr-85 ausgeweitet.

Parallel sind die Vor-Ort-Versuche in der KTE weiterhin in Vorbereitung.

TUD-4: Keine

5. Bezug zu anderen Vorhaben

-

6. Berichte und Veröffentlichungen

Vortrag:

„Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau“;

Anne-Maria Reinecke, Veranstaltung: FORKA Statusseminar, 24.05.2022, Berlin

Vortrag:

„Laserstrahlbasierte Dekontamination - Umsetzung eines Pilotprojektes in der Praxis“; Anne-Maria Reinecke, Veranstaltung: Neue Entwicklungen im Strahlenschutz und ihre Anwendung in der Praxis, 30.06.2022, TÜV Süd, München

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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) Teilprojekt: Untersuchungen zur thermischen Zersetzung, zum Partikeltransport und zur Lackdetektion auf Betonoberflächen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 31.05.2023	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: Die dritte und vierte Messkampagne mit dem Lasersystem wurden durchgeführt. Dabei wurde in der dritten Messkampagne der kontinuierlich Diodenlaser untersucht. Bei der vierten Messkampagne wurden die Ergebnisse aus der Messkampagne 2021/09 mit dem gepulsten Laser validiert und um das Lacksystem Sika ergänzt. Die Auswertung der Daten der Messkampagnen wurde ergänzt und bis zu einer ersten Ergebnismatrix zu den Einflussgrößen verdichtet. Die Versuche mit dem Versuchsstand zur Lackersetzung wurden begonnen. Dabei zeigte sich noch Weiterentwicklungsbedarf zur korrekten Nachbildung des Laserprozesses und dem Schutz der Messtechnik.

AP 6: Für die chemische Betrachtung des Metallarbeitskopfes, wurde zunächst eine Massenbilanz für den Abtrag erstellt. Diese basiert auf der Elementaranalyse des Lacksystems EW-10 S1013 und den im Experiment bestimmten mittleren Abtragsraten. Eine Energiebilanz des Laserstrahls liefert den erforderlichen Energieeintrag auf der Lackoberfläche sowie eine Abschätzung der Temperatur der entstehenden Gase. Unter Einbeziehung dieser Ergebnisse wurde eine vereinfachte Methodik zur Strömungssimulation und zur Nachbildung der chemischen Reaktionen entwickelt. Daraus wurde die temperatur-Zeit-Kurve und nachfolgend die Konzentrationsverteilung der Gaskomponenten entlang einer ausgewählten Strömungslinie berechnet.

AP 8: Es erfolgte eine Auswertung der bisherigen Versuche unter Einbeziehung der mehrerer neuer IR-Strahlungsquellen. Es wurde ein heuristisches Modell zur Unterscheidung der Oberflächenqualität basierend auf selbstlernenden Algorithmen entwickelt. Das Modell liefert eine gute Unterscheidbarkeit zwischen Lack und Beton. Für Bereiche mit extrem hohem Energieeintrag, welche zu einer Verglasung des Betons führten, ist die Unterscheidbarkeit zum Lack noch eingeschränkt

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zum Arbeitsprogramm)

AP 5: Die Auswertung der Laser-Messkampagnen soll abgeschlossen werden. Dazu muss die Vergleichbarkeit der Ergebnisse auf einen einheitlichen O₂-Gehalt gewährleistet werden. Auf diesen Ergebnissen aufbauend soll die Entwicklung eines Modells zur Erklärung der beobachteten Effekte erfolgen. Die Überarbeitung und der Umbau des Versuchsstandes zur Lackersetzung sowie Start der Messkampagnen am Versuchsstand sollen erfolgen.

AP 6: Die ersten Ergebnisse der chemischen Betrachtung für eine zentrale Stromlinie der Reaktionszone liegt vor. Da innerhalb der Reaktionszone eine lokale Verteilung der Werte für Temperatur, Stoffumsatz und Mischverhältnis vorliegt, müssen die chemischen Simulationen auf weitere Bereiche der Reaktionszone ausgeweitet werden. Durch eine Bewertung einzelner Stromlinien in repräsentativen Bereichen des Reaktionsraumes, sollen anschließend mittlere Werte für die gesamte Reaktionszone bestimmt werden.

AP 8: Die Untersuchung der geometrischen Einflüsse des Messaufbaus soll vertieft werden, um eine bessere Unterscheidbarkeit von Lack und verglastem Beton zu erreichen. Anschließend ist die Übertragung der Daten und Modelle von der punktuellen zur flächigen Auswertung geplant. Darauf aufbauend erfolgt die Finalisierung der Heuristik.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen der Bearbeitung des Vorhabens wurde Kontakt mit der ROBDICON-Initiative und dem Projekt ROBBE aufgenommen. Zielstellung ist die Sondierung gemeinsamer Interessen hinsichtlich der Laser-Dekontamination zur Integration auf automatisierbare Plattformen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Projektvorstellung auf dem FORKA-Statusseminar 23.-24.05.22, Berlin:

Reinecke, A.-M.; Kahl, Pestel, A.; Flößner, T; T.; Findeisen, E.; Herrmann, M.; Hurtado, A.; Krause, H.: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau. Statusbericht.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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: 01.3.2020 bis 30.09.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 256.953,75 €
Projektleiter: Herr Dipl.-Ing. Jörg Recknagel	E-Mail-Adresse des Projektleiters: Joerg.Recknagel@kkw.rwe.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

Teilprojekt RWE:

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Projekt ist in acht Arbeitspakete (AP) gegliedert:

AP1 – Anforderungen/Systemdesign

AP2 – Autonome 3D-Erfassung der Oberflächengeometrie

AP3 – Robotergestützte Entschichtung

AP4 – Simulation und Integration

AP5 – Prototypenbau

Prototyp1: Funktional im Laborbereich zum Testen und Evaluieren

Prototyp2: Funktional mit Industriekomponenten, Werksgelände KWB

AP6 – Anlagenimplementierung

Implementierung des Prototyp2 in den Kontrollbereich des KWB

AP7 – Evaluierung

AP8 – Projektmanagement

RWE Nuclear GmbH ist Projektkoordinator und im 2. Halbjahr an den AP4, AP5, AP7 und AP8 beteiligt. AP1 wurde im ersten Halbjahr 2021 abgeschlossen.

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

AP3 – Robotergestützte Entschichtung

- Überarbeitung der Wirkparameter-Erfassung
- Ingenieurtechnische Unterstützung bei der Prozessplanung „Selektive Nachreinigung“

AP4 – Simulation und Integration

- Erarbeitung von Konzepten zur Kollisionserkennung
- Technische Optimierungsvorgaben für die Bahnplanung

AP5 – Prototypenbau

- Entwicklung zur Ergänzung der Kollisionsvermeidung um eine taktile Sensorik
- Testbetrieb der Anlage bei verschiedenen Druckstufen bis 250 MPa/Dichtheits- und Belastungsprüfungen
- Auswertung der Ergebnisse zur Übertragung an die Prozessrechentechnik mit Blick auf die Optimierung der Anlagensteuerung
- Stresstests zur Härtung der Bediensoftware
- Erfolgreiche autonome Bearbeitung von Baugruppen unterschiedlichster Geometrie
- Einrichtung eines HMI-Bedientableaus mit Anschluss an eine Simulations-SPS, zur Signalverarbeitung mit der mobilen UHD-Pumpe. Das ist eine Vorbereitende Maßnahme zur Vereinfachung der Übertragung an die spätere Anlagensteuerung
- Erarbeitung von Maßnahmen zur ingenieurtechnischen Optimierung der Anlage
- Erarbeitung eines Konzepts für die Erkennung von Bauteilpositionen
- Markt- und Herstellerrecherche

AP6 – Anlagenimplementierung

- Vorbereitende Maßnahmen zur Signalverarbeitung für die Einbindung der Steuerung
- Ausführungsplanung vorbereitender Maßnahmen für den Anlageneinbau in den Kontrollbereich
- Bearbeitung der Signalbearbeitung für die Not-Halt-Kette und sonstige Sensorik

AP7 - Evaluierung

- Vertiefte Auswertung und Evaluierung der Testergebnisse aus der Nassbetriebsphase zur Optimierung des Prozessablaufs
- Stetige Evaluierung der Systementwicklung in Bezug auf den künftigen Einsatz im Leistungsbetrieb

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Das nächste größere Ziel ist der Aufbau und die stufenweise Aufnahme des Leistungsbetriebs mit dem Ziel der Freigabe für den Einbau in den Kontrollbereich. Die Bahnplanung wird dafür entsprechend optimiert. Dazu ist eine enge Abstimmung zwischen dem Fraunhofer IGD als Forschungspartner und RWE als Koordinator der ingenieurtechnischen Umsetzung erforderlich. Voraussichtlich wird auch während der abschließenden Projektphase auch noch stetig das AP4 kreditiert, da die Weiterentwicklung und Nutzung des Simulators speziell mit angepassten IK-Funktionalitäten sehr hilfreich bei der Finalisierung der Trajektorienplanung zur Bearbeitung komplizierterer Bauteile ist.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Erweiterung der Funktionalität des Systems in Bezug auf ein automatisches Erkennen von umgespannten und umzuspannenden Werkstücken. Hierzu wird ein ergänzendes mikroelektronisches Trackingsystem eingesetzt, das bereits abschließend konzeptioniert ist und in den nächsten Wochen physisch aufgebaut in und in die Anlage integriert wird. Zur Vorbereitung der Implementierung in den Kontrollbereich werden vorbereitende Maßnahmen in den dortigen Dekonsträumen am künftigen Einbauort der Anlage umgesetzt (Maßnahmen zur baustatischen Anpassung des Robotersockels, Störkantenbeseitigung, Kernbohrungen, Trassenführungen, Einbau der Not-Halt- und Endlagenschalter sowie der Tür- und Torzuhaltungen, Installation einer Fernwartung und Kameraüberwachung). Die erforderlichen Maßnahmen müssen ferner so angelegt werden, dass sie den derzeit laufenden Rückbaubetrieb geringstmöglich stören.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine neuen Erkenntnisse

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Präsentation anlässlich des GRS Statusseminars vom 23.-25.5.22 in Berlin
- Einreichung einer Veröffentlichung, Bestätigung der Annahme:
European Physics Journal – Nuclear: ROBBE- Robot assisted processing of assemblies during the dismantling of nuclear power plants.
- Presse-Mitteilung RWE Nuclear GmbH vom 31.05.2022

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 30.09.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.170.790,66 €
Projektleiter/-in: Herr Pedro Santos	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 Objektflächen, 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

- abgeschlossen

AP2: Autonome 3D-Erfassung

Ziel: Erfassung eines unbekanntes teilweise glänzenden Objektes. Der Fokus lag im ersten Halbjahr auf der Anpassung und Weiterentwicklung der Steuerung des Industrie-Prototypen RWE01.

Schwerpunkte waren hierbei folgende Tätigkeiten:

- Kalibrierung und Optimierung der Linienfassung an RWE01 von langsamer (10% Verfahrgeschwindigkeit) bis hin zu voller Fahrt (100% Verfahrgeschwindigkeit).
- Verbesserung der Rekonstruktionsgeschwindigkeit, Programmcodereview und -härtung.
- Befähigung der Rekonstruktionsfilter zum robusten Umgang mit wechselhaften Lichtverhältnissen bei RWE01

AP3: robotergestützte Entschichtung

Ziel: Reinigung auf Basis von direkt auf Punktwolken erfolgreicher Pfadplanung. Der Fokus im ersten Halbjahr lag in der Optimierung der Berechnung der Reinigungsbahnen am RWE01.

Schwerpunkte waren hierbei folgende Tätigkeiten:

- Kalibrieren der Position des Endeffektors bei der Pfadplanung gegenüber seiner realen Position am RWE01. Dies erlaubt die Durchführung von Kollisionserkennung und -behandlung bei der Pfadplanung.
- Als erste Haltevorrichtung wird nun ein Schraubstock verwendet. Dies hat den Vorteil, dass das Werkstück an einer bestimmten Position erwartet werden kann, was eine sehr robuste Segmentierung erlaubt.
- Es wurde ein neuartiges Berechnungsverfahren für die Pfade entwickelt, das der Form des Objektes folgt und Konkavitäten erkennt um diese gezielt zu reinigen.
- Für die Bahnplanung wurde ein IK-Modell (IK=Inverse Kinematik) des Roboters integriert, um ein direktes Feedback der möglichen Gelenkstellungen im Zusammenhang mit der Kollisionsauflösung des Endeffektors zu erhalten. Dies ist notwendig, um bei komplexeren Bewegungen die durch die Verkabelung des Endeffektors notwendigen Gelenkwinkelschränkungen am Roboter zu berücksichtigen und rechtzeitig problematische Roboterposen zu vermeiden, bevor das System in den Nothalt geht.

AP4: Steuerung, Simulation, Integration

Ziel: Entwicklung einer virtuellen Reinigung zur Bahnoptimierung, Steuerung des Gesamtsystems.

Der Schwerpunkt im ersten Halbjahr 2022 lag hier weiterhin in der Steuerung des neuen Prototyps:

- Primärziel war es, Kollisionen zu verhindern, da sich herausstellte, dass eine Kollisionserkennung rein über Drehmomente nicht umsetzbar ist, da zu viele Störgrößen eingehen (Zugbelastete Bewegung der Versorgungsschläuche, etc).

- Deswegen wird nun während der Bahnplanung ein Modell des Roboterendeffektors mitgeführt, um eventuelle Kollisionen auflösen zu können.
- Die Entwicklung der Softwarekomponente des RWE01 Roboter-Systems wurde weiterhin sowohl auf den dazu passenden Simulator des Roboter-Herstellers (Stäubli), als auch direkt auf und am RWE01 durchgeführt.
- Neuentwicklungen an der Kontrollsoftware wurden hierbei erst am Simulator getestet, anschließend am RWE01 in einem speziellen Trockenmodus, und danach erst mit der realen Hochdruckpumpe unter bis zu 3000 Bar.
- Die Teile aus AP3 und AP4 bilden hierbei weiterhin ein System bestehend aus Planung und Simulation, so dass hier durchgängig die Bahn optimiert werden kann. Die Arbeiten an der Gesamtkommunikation waren in diesem Fall allerdings auch für AP2 relevant, da diese das Grundgerüst für das gesamte übergreifende System darstellen.
- Die Entwicklung wurde so angepasst, das sowohl an RWE01 als auch an einem digitalen virtuellen Zwilling in der Stäubli Simulation Reinigungsdurchläufe durchgeführt werden können. Dies erlaubt das Testen komplexerer Funktionen speziell aus AP2 & AP3, bevor diese direkt auf RW01 ausgeführt werden.

AP5: Prototypenbau RWE

Das erste Halbjahr 2022 war sehr durch direktes Entwickeln vor Ort am RWE01 Prototypen in Biblis geprägt. Die Softwareentwicklung/Anpassung und physikalische Weiterentwicklung an den Prototypen liefen hier Hand in Hand. Hierdurch gab es einen direkten Austausch zwischen den Ergebnissen aus AP2 – AP5 und eine vernetzte Entwicklung:

- Beiträge zum Betrieb von RWE01 / RWE02 außerhalb des Kontrollbereichs, basierend auf den parallellaufenden Entwicklungen der Steuerung von RWE1.

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, Implementierbarkeit) wurde fortgeführt. Die Ergebnisse hieraus wurden wieder auf den Prototyp übertragen, um Designentscheidungen früh testen zu können.

AP8: Projektsteuerung/Administrative Projektarbeit

Von RWE durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Aktuell wird eine Konsolidierung der Kontroll- und der Rekonstruktionssoftware durchgeführt. Diese waren bisher getrennt und werden nun zu einer Komponente zusammengeführt. Des Weiteren sind Arbeiten an der softwaremäßigen Verbindung zwischen Roboter und Kontrollprogramm geplant, um diese ähnlich robust zu bekommen, wie die Kommunikation zwischen Scankopf und Kontrollprogramm, welche während der gesamten Testkampagne in diesem Halbjahr zuverlässig, robust und fehlerfrei funktioniert hat. Des Weiteren stehen noch Arbeiten zum Thema Umspannen von Objekten mittels IMU und die optimierte Planung von Reinigungsbahnen auf horizontalen Oberflächen an, die recht starke Verdrehungen des Endeffektors benötigen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine neuen gegenüber letztem Bericht.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Das Projekt ROBBE hat den diesjährigen „EU Innovation Prize on Nuclear Waste Management 2022“ (3.Platz) gewonnen. Mit der Preisverleihung ist eine Publikation im „European Physics Journal on Nuclear Sciences & Technologies“ (eISSN: 2491-9292) verknüpft, welche angenommen wurde und in den kommenden Wochen herausgegeben wird unter dem Titel: „ROBBE - Robot-aided processing of assemblies during the dismantling of nuclear power plants“. Zu der Preisverleihung gab es eine gemeinsame Presse-Mitteilung der RWE Nuclear GmbH und des Fraunhofer IGD vom 31.05.2022

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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

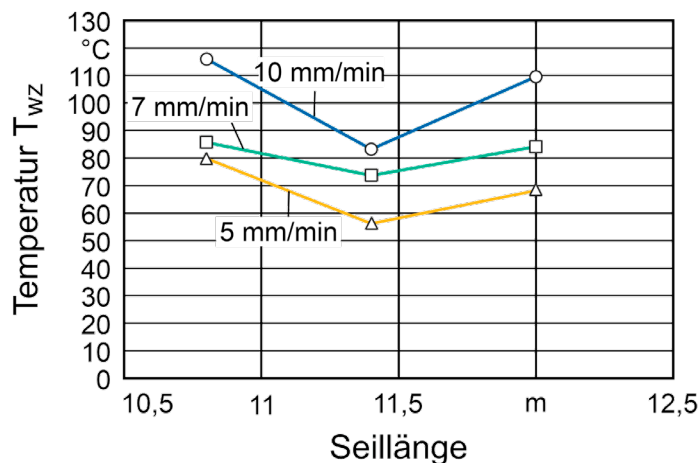
Modellbildung aus den gewonnenen Erkenntnissen der vorherigen APs.

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 3: Im dritten Arbeitspaket sollen die Zusammenhänge zwischen den zuvor identifizierten thermischen Einflussfaktoren und dem Einsatz- und Verschleißverhalten beim trockenen Seilschleifen von Stahl untersucht werden. Dazu wurden am stationären Seilschleifprüfstand die systembedingten Einflussfaktoren Seillänge und Kühlleistung sowie die Prozessstellgrößen Vorschubgeschwindigkeit und Schnittgeschwindigkeit variiert. Die Werkzeugtemperatur wurde dabei mittels Wärmebildkamera gemessen. Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Werkzeugtemperatur in Abhängigkeit der Werkzeuglänge für unterschiedliche Vorschubgeschwindigkeiten. Mit steigender Vorschubgeschwindigkeit nimmt dabei die Werkzeugtemperatur signifikant zu. Dies ist auf die dadurch steigende Einzelkornspannungsdicke zurückzuführen. Mit steigender Vorschubgeschwindigkeit nimmt somit die mechanische Belastung im Prozess zu, wodurch die Reibung steigt und damit die Prozesstemperatur. Es zeigt sich zudem, dass der Trend der vorherigen Arbeitspakete bestätigt werden kann. Mit steigender Seillänge nimmt die Werkzeugtemperatur auch im tatsächlichen Seilschleifprozess ab. Es scheint allerdings ein Minimum der Werkzeugtemperatur bei einer Seillänge von 11,4 m zu existieren. Die tatsächliche Ursache hierfür wird in weiterführenden Untersuchungen des Arbeitspaket untersucht. Eine mögliche Ursache ist die prozessbedingte hohe Anfälligkeit des Seilschleifens für Schwingungen und ein möglicher ungünstiger Schwingungszustand bei einer Seillänge von 12 m, der in den Untersuchungen im Leerlauf nicht aufgetreten ist.



Prozess:	Werkzeug:	Werkstück:
$p_v = 0,2 \text{ MPa}$	Diamantseil	Baustahl S355JR
$v_c = 20 \text{ m/s}$	C1000	
$v_f = \text{var.}$	Seillänge = 10,8-12 m	
ohne Kühlung		

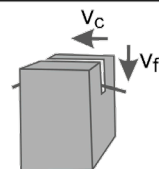
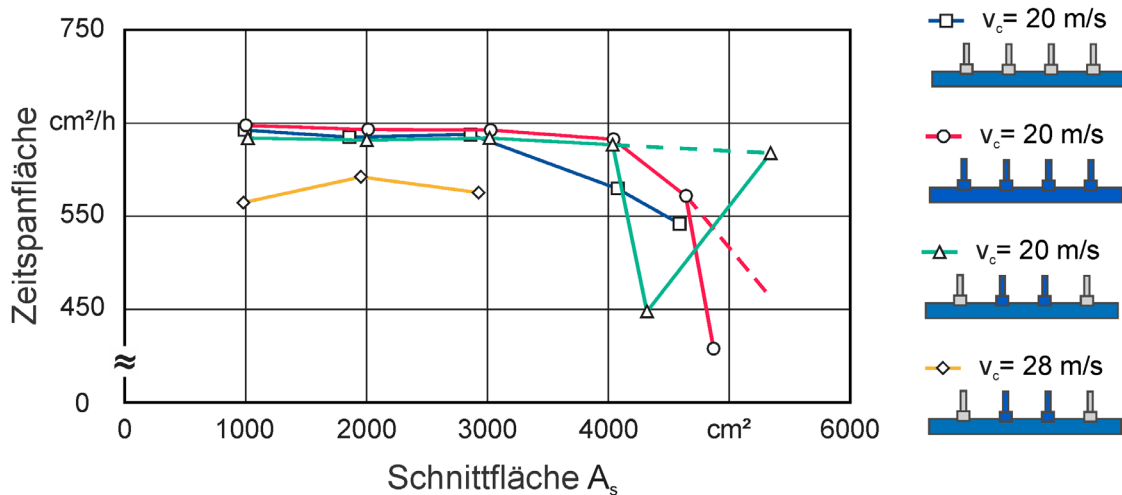


Abbildung 1: Einfluss der Seillänge und Vorschubgeschwindigkeit auf die Werkzeugtemperatur

Weiterhin wurde die Leistungsfähigkeit der neu entwickelten Kühleinheit untersucht. Dafür wurden Standzeituntersuchungen durchgeführt bei den Kühlzuständen 0 Düsen, 2 Düsen, 4 Düsen. Dabei zeigt sich in Abbildung 2, dass bei einer Schnittgeschwindigkeit von 20 m/s die Zeitspanfläche zunächst konstant bei ca. 650 cm²/h liegt. Je nach Kühlzustand fällt die Zeitspanfläche ab einer spezifischen Schnittfläche ab. Dies ist auf den mikroskopischen

Verschleiß der Segmente zurückzuführen, wodurch das Seil im Laufe der Einsatzzeit seine Schnittfähigkeit verliert. Es zeigt sich, dass dies ohne Kühlung bereits bei einer Schnittfläche von 3.000 cm² geschieht. Hier erreicht das Seil auch die geringste Standzeit. Die höchste Standzeit bei nahezu gleichbleibender Zeitspanfläche erreicht das Seil beim Kühlzustand mit 2 Düsen. Der kurze Abfall der Zeitspanfläche bei 4.300 cm² ist auf ein Versagen des Verbinders zurückzuführen und nicht auf die Schnittfähigkeit des Seils. Somit wird die höchstmögliche Produktivität und höchste Standzeit mit 2 Kühldüsen erreicht und nicht mit 4 Düsen. Dies liegt an der Druckluftverteilung innerhalb der Kühleinheit. Teilt sich die zugeführte auf 4 Düsen auf, kommt es zu einem Druckabfall im einzelnen Wirbelrohr, wodurch die Effizienz der Kühlung abnimmt.

Weiterhin ist zu beobachten, dass bei einer Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit auf 28 m/s die Zeitspanfläche deutlich geringer ist und das Seil bereits bei 3.000 cm² sein Standzeitende erreicht. Mit Zunahme der Schnittgeschwindigkeit nimmt die Einzelkornspannungsdicke ab, wodurch hier die Mindestspannungsdicke unterschritten wird. Dies führt dazu, dass keine effiziente Spanbildung mehr stattfindet und es zu stark ausgeprägtem Kornverschleiß und Abnahme der Schnittfähigkeit kommt.



Prozessstellgrößen:	Werkzeug:	Werkstück:
v _c = 20 m/s, 28 m/s	Husqvarna C1000	Versuchsblock aus Baustahl S355 JR
v _f = 5 mm/min	d _s = 10,3 mm	
p _v = 2,5 bar	n _s = 44 1/m	
Kühlung variiert	λ = 0,220	

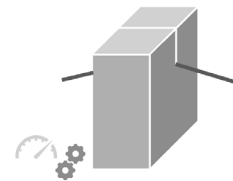


Abbildung 2: Einfluss der Kühlbedingungen und der Schnittgeschwindigkeit auf die Zeitspanfläche.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP2: Im zweiten Arbeitspaket wird der Einfluss der Werkzeugspezifikation auf das Einsatzverhalten untersucht. Es ist in Absprache mit verschiedenen Herstellern der Seile geplant, die Segmentlänge im ersten Schritt in drei Stufen zu variieren. Diese Versuche sollen abgeschlossen werden.

AP4: Im vierten Arbeitspaket soll ein Modell zur Vorhersage der Prozesskräfte und der Werkzeugtemperatur aufgebaut werden. Basis hierfür sind die Erkenntnisse aus den Untersuchungen der vorherigen Arbeitspakete.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9425A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke	
Vorhabenbezeichnung: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung (MAARISS) Teilprojekt: Parametervalidierung zum Tiefschnitt 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.

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.

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)

Im Rahmen des AP 2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ wurden seit dem Frühjahr 2021 mit dem „DefAhS“-Demonstrator am KIT mittlerweile mehrere Versuchsreihen mit verschiedenen Werkzeugaufbauten getestet. Es wurde vom Projektpartner Herrenknecht ein Konzept mit außenliegenden Trennscheiben entwickelt, welches einige Vorteile – wie eine reduzierte Anzahl an Spezialwerkzeugen, einen gleichmäßigeren Abtrag im Innenbereich, eine konstante Nutbreite sowie eine glatte Nutaußenkante – aufweist. Dieses wurde im Halbjahr II/2021 aufgebaut und seitdem getestet. Hierzu waren kontinuierlich Umbauten an der Frästrommel sowie die Neuanfertigung einiger Werkzeuge und Bauteile notwendig.

Ein stabiler Prozess konnte hierbei im Halbjahr I/2022 phasenweise generiert werden. Die notwendigen Testreihen mit diesem Aufbau konnten aufgrund von Verzögerungen noch nicht abgeschlossen werden. Die Anfälligkeit zum Brechen der Wendeschneidplatten bei Kontakt mit Betonrückständen konnte durch eine Optimierung der Schneidkantengeometrie deutlich reduziert werden.

Im Halbjahr I/2022 konnten außerdem neue Versuche an der Contec-Bodenfräse durchgeführt werden. Im Fokus liegt hier der reine Betonabtrag, bspw. zur Anwendung in der Betondeckung, für welchen neue und wirtschaftlichere Fräsparameter angewendet werden sollen.

Zu Beginn des Jahres 2022 wurden aufgrund weiterer Rückmeldungen von Kernkraftwerksbetreibern die Anforderungen an das mobile Anbaugerät weiter definiert. Im Wesentlichen wurden geringere Teilgewichte des Anbaugeräts MAARISS gefordert. Dieser Rückmeldung soll mittels eines modularen Aufbaus begegnet werden. Hierfür wurde seitens des Projektpartners Herrenknecht der geplante Hydraulikantrieb im MAARISS-Konzept durch einen Elektromotor ersetzt.

Im Halbjahr I/2022 ist zudem das AP5 „Datenerfassung / Integration von Datenanalysen“ angelaufen. Die Sensorik konnte hier deutlich erweitert werden. Die jeweiligen Sensoren wurden dann noch mit Daten aus den Lineareinheiten gekoppelt, wozu durch die Firma ProNES Eingänge auf der SPS geschaffen werden mussten. Durch die Aufnahme der Beschleunigungswerte beim Fräsprozess können Zusammenhänge zwischen den entstehenden Vibrationen und dem Stahlfreilegungsgrad untersucht werden. Hiermit soll eine Grundlage für den automatisierten Prozess geschaffen werden. Durch die

Teilautomatisierung der Steuerungssoftware durch die Firma ProNES, konnten im Halbjahr I/2022 zudem erste Versuche ohne manuelle Steuerung realisiert werden. Die finale Einrichtung eines zuverlässigen Automatikmodus innerhalb der bestehenden Software konnte jedoch aufgrund erheblicher Verzögerungen seitens ProNES im Halbjahr I/2022 noch nicht abgeschlossen werden.

Im Halbjahr I/2022 konnte im AP3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ der Bau verschiedener Prototypen umgesetzt werden. Da die Absaugung der feinen Beton- und der groben Stahlpartikel jedoch nicht zufriedenstellend war, wurde ein Strömungsexperte beauftragt. Abgeschlossen werden konnte das AP3 im Halbjahr I/2022 noch nicht.

Des Weiteren wurde die Beschaffung des Trägergeräts für das AP7 „Vor-Ort-Tests“ im Jahr 2023 koordiniert. Aufgrund laufender Entsperrungsprozesse steht die Bestellung des Drehgerätes noch aus, die Lieferung des Staplers ist jedoch im Halbjahr I/2022 schon erfolgt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Rahmen des AP2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ soll die neuartige Trennscheibenvariante weiter untersucht und optimiert werden, um eine breite Datengrundlage für die Auslegung der „MAARISS“-Komponenten zu schaffen. Die Datenreihen in Stahlbeton mit orthogonal und parallel zur Frästrommel ausgerichteter Bewehrung sollen im Halbjahr II/2022 fertiggestellt werden. Hier fließen auch die Erkenntnisse aus den Ergebnissen des Contec-Versuchsstands ein.

Die durchgeführten Versuche stellen außerdem die Arbeitsgrundlage für das anlaufende AP5 „Datenerfassung / Integration von Datenanalysen“ dar. In den Versuchen müssen die relevanten Größen mittels Sensoren ermittelt und anschließend ausgewertet werden. Die charakteristischen Werte sollen den Ausgangspunkt für die automatisierte Auswahl der Fräsbetriebszustände bilden.

Im AP3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ soll im kommenden Halbjahr II/2022 ein Prototyp, welcher eine ausreichende Absaugleistung realisieren kann, fertiggestellt und im Rahmen der ausstehenden Fräsversuche getestet werden.

Vom 06.07.-07.07.2022 fand die VDI-Veranstaltung "Rückbau kerntechnischer Anlagen" statt. Hier wurde ein Vortrag zur Entwicklung des „Mobilen Anbaugeräts zur automatisierten Rissüberfräsung“ gehalten.

Vom 14.-17.11.2022 soll die Konferenz „iCond“ in Aachen stattfinden. Hierfür wurde das Projekt MAARISS für einen Vortrag ausgewählt. Hier wird im Voraus ein Fullpaper eingereicht.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Auf dem „GRS Statusseminar 2022“ (24.05.-25.05.2022 in Berlin) wurde ein Vortrag zur Entwicklung des „Mobilen Anbaugeräts zur automatisierten Rissüberfräsung“ gehalten und der aktuelle Projektstand erläutert.

Auf der „KERNTECHNIK 2022“ (21.06.-22.06.2022 in Leipzig) wurde ein Vortrag zur Entwicklung des „Mobilen Anbaugeräts zur automatisierten Rissüberfräsung“ gehalten und vorab ein dazugehöriges Abstract sowie ein Fullpaper veröffentlicht.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9425B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Herrenknecht AG	
Vorhabenbezeichnung: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung (MAARISS) 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)

Im Rahmen des AP2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ wurden diverse Tests an beiden Versuchsständen am KIT durchgeführt. Dazu wurden unter anderem neue Abbauwerkzeuge vorbereitet und bereitgestellt. Außerdem wurden die zu untersuchenden Parameter für die jeweiligen Versuchsreihen vorab mit dem Projektpartner KIT gemeinsam abgestimmt. Aufgrund der positiven bzw. vielversprechenden Ergebnissen bei den Versuchen mit den weiterentwickelten Abbauwerkzeugen wird diese Art der Bestückung beibehalten. Insbesondere der vereinfachte Aufbau der Werkzeugbestückung sowie die gleichmäßigere und voraussichtlich höhere Abtragsleistung sprechen eindeutig für die neu konfigurierte Werkzeugbestückung.

Die Herrenknecht AG unterstützte das KIT generell bei der Ausführung und Auswertung der eingeplanten und durchgeführten Versuchsreihen an beiden Versuchsständen.

Bei einer Vor-Ort-Begehung in einem bereits dekontaminierten Kernkraftwerk wurden die Schwierigkeiten und Belange in Zusammenhang mit den Dekontaminationsarbeiten verdeutlicht. Hierbei wurden die verschiedenen Bedingungen und Situationen für die Anwendung in der Praxis eindeutig aufgezeigt. Aus den erläuterten und dargestellten Erkenntnissen sowie Erfahrungen lassen sich im wesentlichen folgende Anforderungen ableiten:

- Modulare und leichte Bauweise für flexiblen Transport und Einsatz unter stark beengten Bedingungen (Treppenhaus, Flur, Türen, ...)
- Einfaches Bewegen und Montage/Demontage
- Rissüberfräsung zumeist im Bereich von 100 bis 200 mm

Demzufolge resultieren folgende angepasste Maßnahmen bzw. Schlussfolgerungen, welche bei der weiteren neu ausgerichteten Konzeptausarbeitung in AP4 vorrangig berücksichtigt werden:

- Modulare und leichte Bauweise priorisieren
- Elektrischer Antrieb statt Hydraulikantrieb favorisieren
- Tiefenabtrag auf ca. 200 mm (statt bisher 300 mm) begrenzt

Im Halbjahr I/2022 wurde in AP4 „Neuentwicklung eines hochmobilen Anbaugeräts“ ein neuer Konzeptentwurf erstellt mit dem Fokus auf die zuvor genannten Vorgaben. Für die

Konzipierung der einzelnen Baugruppen und Systemkomponenten wurden gesonderte Versuche u. a. mit speziell vorbereiteten Probekörpern am DefAhS-Versuchsstand durch das KIT durchgeführt. Dabei wurden die realen Betriebsdaten in Form von Schnittkräften sowie Drehmomenten zum einen für die reine Betonbearbeitung und zum anderen für den Stahlabtrag ermittelt. Auf dieser Basis wurden die Antriebskomponenten definiert sowie der konstruktive Aufbau für das mobile Anbaugerät dimensioniert. Bei der Konzepterstellung wurde auch ein erster Entwurf für die Anbausituation am Drehgerät und somit auch am Trägergerät in Form einer Adaptervorrichtung ausgearbeitet. Zudem wurde die Systeminstallation durch das Anfahren bzw. Erreichen der Montage-Position und der anschließenden Befestigung an der zu bearbeitenden Wand grundlegend untersucht. Der aktuelle Stand der Konzeptausarbeitung wurde im Rahmen des FORKA-Statusseminars präsentiert.

Die bisherigen Untersuchungen durch das KIT im AP3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ haben sich bis dato als nicht zielführend erwiesen. Innerhalb der getesteten Einhausungen konnten mit den bisherigen Positionierungen der Absaugdüse, sowie der aktuell zur Verfügung stehenden Absaugleistungen am KIT, das abgetragene Material nicht ausreichend entfernt werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Der neue Konzeptentwurf wird im Rahmen von AP6 „Umsetzung und Integration des neuen Anbaugeräts“ durch die detaillierte 3D-Modellierung weiterbearbeitet. Abgesehen von der konstruktiven Ausarbeitung der Systemkomponenten und Baugruppen werden im Zuge der mechanischen Projektierung auch die Zukaufteile angefragt und definiert. Parallel dazu erfolgt die Projektierung und Integration der elektrischen Komponenten zu einem Gesamtsystem. Abschließend werden die jeweiligen Fertigungs- und Zusammenstellungszeichnungen erstellt und die dazugehörigen Stücklisten generiert.

Auf dieser Basis kann die Herstellung und Bestellung sämtlicher Systemkomponenten veranlasst werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Auf dem „FORKA Statusseminar 2022 (GRS)“, welches dieses Jahr vom 24.05.-25.05.2022 in Berlin stattgefunden hat, wurde ein Vortrag zur Entwicklung des „Mobilen Anbaugeräts zur automatisierten Rissüberfräsung“ gehalten und der aktuelle Projektstand erläutert.

Auf der „KERNTECHNIK 2022“, die dieses Jahr vom 21.06.-22.06.2022 in Leipzig stattgefunden hat, wurde ein Vortrag zur Entwicklung des „Mobilen Anbaugeräts zur automatisierten Rissüberfräsung“ gehalten und vorab ein dazugehöriges Abstract sowie ein Fullpaper veröffentlicht.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9425C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Kraftanlagen Heidelberg GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung (MAARISS) 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)

Im Rahmen des AP 2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ wurden seit dem Frühjahr 2021 mit dem „DefAhS“-Demonstrator am KIT mittlerweile mehrere Versuchsreihen mit verschiedenen Werkzeugaufbauten getestet. Es wurde vom Projektpartner Herrenknecht ein Konzept mit außenliegenden Trennscheiben entwickelt, welches einige Vorteile – wie eine reduzierte Anzahl an Spezialwerkzeugen, einen gleichmäßigeren Abtrag im Innenbereich, eine konstante Nutbreite sowie eine glatte Nutaußenkante – aufweist.

Im AP3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ wurde der Bau verschiedener Prototypen umgesetzt. Zur Optimierung der Absaugung wurde seitens KIT ein Strömungsexperte beauftragt.

Aufgrund weiterer Rückmeldungen von Kernkraftwerksbetreibern, wurden zu Beginn des Jahres 2022 die Anforderungen an das mobile Anbaugerät weiter definiert. Im Wesentlichen wurden geringere Teilgewichte des Anbaugeräts MAARISS gefordert. Dieser Rückmeldung soll mittels eines modularen Aufbaus begegnet werden. Hierfür wurde seitens des Projektpartners Herrenknecht innerhalb des AP4 „Neuentwicklung eines hochmobilen Anbaugeräts“ ein neues Konzept für das zu entwickelnde Werkzeug erarbeitet.

Im Halbjahr I/2022 wurden die Arbeiten im AP5 „Datenerfassung / Integration von Datenanalysen“ aufgenommen. Die Sensorik wurde erweitert, wodurch auf Basis der Beschleunigungswerte beim Fräsprozess die Zusammenhänge zwischen den entstehenden Vibrationen und dem Stahlfreilegungsgrad untersucht werden können. Durch die Teilautomatisierung der Steuerungssoftware konnten erste Versuche ohne manuelle Steuerung realisiert werden.

Kraftanlagen Heidelberg unterstützte hierbei, im Rahmen des AP 0, die Projektpartner in den jeweiligen Arbeitspaketen durch das Einbringen von Erfahrungen und spez. Knowhow, das im Rückbau von kerntechnischen Anlagen gesammelt werden konnte.

So konnten u.a., die Rückmeldungen und Eindrücke, die im Rahmen der Begehung einer kerntechnischen Anlage gesammelt werden konnten, verifiziert, eingeordnet und in Form von Anforderungen definiert werden.

Weiter konnte Kraftanlagen Heidelberg bei der Erstellung von Fach-Papern und Präsentationen für die unter Punkt 6. „Berichte und Veröffentlichungen“ genannten Veröffentlichungen unterstützen. Insbesondere der Vortrag auf der „KERNTECHNIK 2022“ sorgte bei den Teilnehmern für großes Interesse an dem Projekt und einer anschließenden Verwertung.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Rahmen des AP2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ soll die neuartige Trennscheibenvariante weiter untersucht und optimiert werden. Die Datenreihen in Stahlbeton mit orthogonal und parallel zur Frästrommel ausgerichteter Bewehrung sollen im Halbjahr II/2022 fertiggestellt werden. Hier fließen auch die Erkenntnisse aus den Ergebnissen des Contec-Versuchsstands ein.

Im AP3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ soll im kommenden Halbjahr II/2022 ein Prototyp, welcher eine ausreichende Absaugleistung realisieren kann, fertiggestellt und im Rahmen der ausstehenden Fräsversuche getestet werden.

Die durchgeführten Versuche stellen außerdem die Arbeitsgrundlage für das anlaufende AP5 „Datenerfassung / Integration von Datenanalysen“ dar. In den Versuchen müssen die relevanten Größen mittels Sensoren ermittelt und anschließend ausgewertet werden. Die charakteristischen Werte sollen den Ausgangspunkt für die automatisierte Auswahl der Fräsbetriebszustände bilden.

Der neue Konzeptentwurf wird im Rahmen von AP6 „Umsetzung und Integration des neuen Anbaugeräts“ durch die detaillierte 3D-Modellierung weiterbearbeitet. Abgesehen von der konstruktiven Ausarbeitung werden auch die Zukaufteile angefragt und definiert. Parallel dazu erfolgt die Projektierung und Integration der elektrischen Komponenten zu einem Gesamtsystem. Abschließend werden die jeweiligen Fertigungs- und Zusammenstellungszeichnungen erstellt und die dazugehörigen Stücklisten generiert.

Vom 06.07. bis 07.07.2022 fand die VDI-Veranstaltung "Rückbau kerntechnischer Anlagen" statt. Hier wurde ein Vortrag zur Entwicklung des „Mobilen Anbaugeräts zur automatisierten Rissüberfräsung“ gehalten.

Vom 14.11. bis 17.11.2022 soll die Konferenz „iCond“ in Aachen stattfinden. Hierfür wurde das Projekt MAARISS für einen Vortrag ausgewählt. Hier wird im Voraus ein Fullpaper eingereicht.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Auf dem „GRS Statusseminar 2022“ (24.05.-25.05.2022 in Berlin) wurde ein Vortrag zur Entwicklung des „Mobilen Anbaugeräts zur automatisierten Rissüberfräsung“ gehalten und der aktuelle Projektstand erläutert.

Auf der „KERNTECHNIK 2022“ (21.06.-22.06.2022 in Leipzig) wurde ein Vortrag zur Entwicklung des „Mobilen Anbaugeräts zur automatisierten Rissüberfräsung“ gehalten und vorab ein dazugehöriges Abstract sowie ein Fullpaper veröffentlicht.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9429A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen	
Vorhabenbezeichnung: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), 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 zu steigern. Gleichzeitig soll die Erzeugung von radioaktiv kontaminierten Sekundärstoffen, wie Altwerkzeugen, 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 wird eine Reduktion der Prozesskräfte erreicht und die Zeitspanfläche durch eine Erhöhung der Prozessstellgrößen erhöht. 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**AP 1.2:**

Es wurden weitere Simulationen auf der Basis eines zentral zusammengesetzten Versuchsplans mit dem Ziel durchgeführt, den Einfluss der Parameter der deterministischen Setzmuster auf den Verschleiß der Schleifperlen zu untersuchen. Letzterer wird zunächst als rein abrasiver Verschleiß angenommen, indem ein Schleifkorn in der Simulation deaktiviert wird, sobald das kumulierte abgetragene Volumen einen definierten Schwellenwert überschreitet. Anhand der Zeitpunkte, zu dem die verschiedenen Körner jeweils deaktiviert wurden, wurde anschließend die Kornausbruchrate für jede Parameterkombination berechnet. Die Effekte der primären Faktoren Korngröße K , tangentialer Kornabstand a , axialer Kornabstand b und tangentialer Kornversatz Δa auf die Kornausbruchrate sind im linken Teil von Abbildung 3 dargestellt. Es zeigt sich, dass der axiale Abstand b die Ausbruchrate signifikant erhöht. Bei einem größeren Abstand der Körner in axialer Richtung verringert sich die Anzahl der aktiven Körner, wodurch dieselbe Abtragleistung durch eine kleinere Kornanzahl geleistet werden muss, was wiederum die Einzelkornbelastung erhöht. Die Korngröße und der Kornversatz führen hingegen zu einer Reduzierung der Ausbruchrate. Bei gleicher Kornanzahl erhöhen größere Körner die Kornkonzentration, wodurch die mittlere Spannungsdicke und damit einhergehend die Belastung der einzelnen Körner reduziert wird. Ein erhöhter Kornversatz erhöht die Anzahl der aktiven Körner, sodass der Materialabtrag und damit die Belastung für die einzelnen Körner gleichmäßiger verteilt ist. Dies reduziert die Wahrscheinlichkeit einer Überlastung der Körner und verringert somit die Kornausbruchrate.

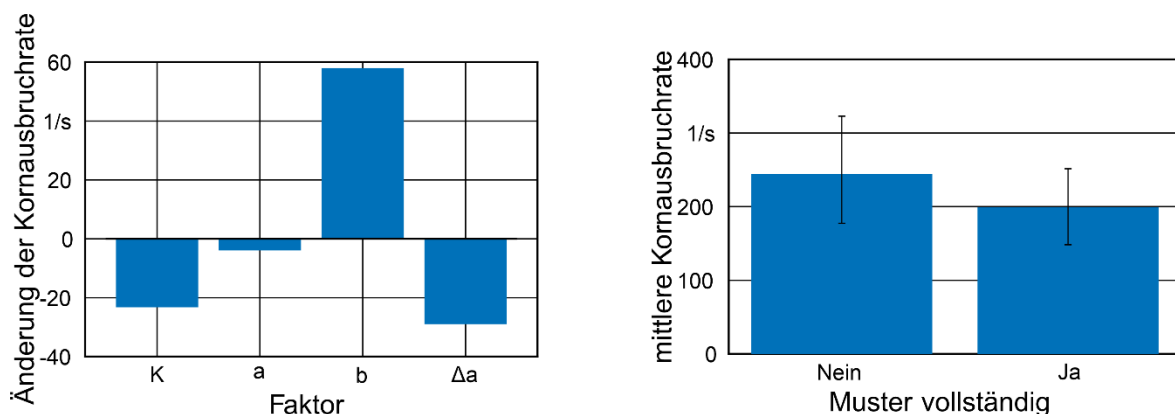


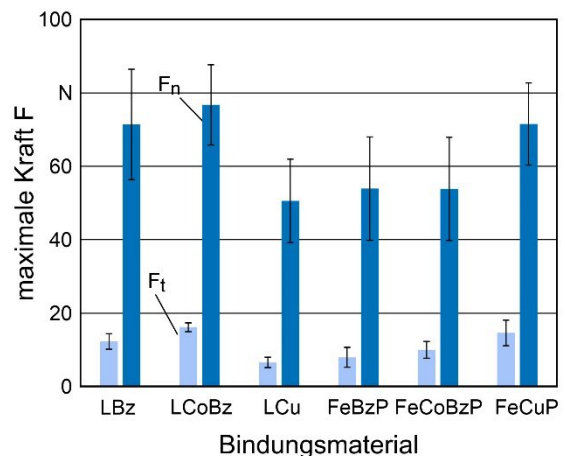
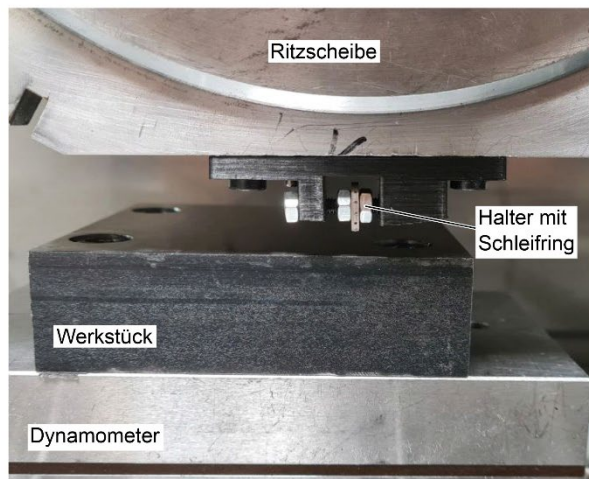
Abbildung 3: Einfluss des Setzmusters auf die Kornausbruchrate

Kö/ 114472 © IFW

In einem weiteren Schritt wurden die simulierten Setzmuster dahingehend analysiert, ob der Hüllkörper der Schleifperle einen vollständigen Kreisumfang abdeckt oder Lücken im Muster existieren. Im rechten Teil von Abbildung 3 ist die mittlere Kornausbruchrate jeweils für die vollständigen und unvollständigen Muster dargestellt. Es zeigt sich, dass die Kornausbruchrate der unvollständigen Muster im Mittel um 25 % größer ist als die der vollständigen Setzmuster. Dementsprechend sollte bei der Auslegung zukünftiger Setzmuster darauf geachtet werden, dass die Setzmuster vollständig sind, um den Verschleiß der Schleifperlen zu minimieren.

AP 3:

Im Rahmen des dritten Arbeitspaketes wurden einlagige Schleifsegmente im Analogieversuch zur Abschätzung der Kornhaltekräfte unterschiedlicher Bindungssysteme untersucht. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 4 gezeigt. Das Werkstück ist mit einer kleinen Steigung von 0,8 % auf dem Dynamometer, welches zur Messung der auftretenden Kräfte verwendet wird, befestigt. Während eines Versuches rotiert die Ritzscheibe mit 1.316 1/min und der Vorschub erfolgt senkrecht zur Schnittrichtung. Auf diese Weise werden je Korn zwölf Ritze im Abstand von 1 mm mit zunehmender Ritztiefe durchgeführt. Anschließend werden die maximal auftretenden Kräfte ermittelt. Diese Kräfte sind für die unterschiedlichen Bindungen in Abbildung 2 dargestellt. Bei der Bezeichnung der Bindungen steht „L“ für Edelstahl 410L und „Bz“ für Bronze. Die Benennung der übrigen Komponenten entspricht der Nomenklatur des Periodensystems. Es wird deutlich, dass für jeweils drei Bindungsvarianten vergleichbare Kräfte gemessen werden. Für eine detailliertere Analyse des Einflusses der verschiedenen Bindungsarten werden im nächsten Schritt die gemessenen Kräfte auf die Ritzquerschnitte bezogen und mit den mechanischen Bindungseigenschaften korreliert. Dies ermöglicht die Ableitung kritischer Spannungen, um die Auswahl von geeigneten Bindungssystemen für die Herstellung von Seilschleifperlen weiter einzugrenzen.



K6/ 114473 © IFW

Abbildung 4: Versuchsstand zum Einzelkornritzen und maximale Ritzkräfte in Abhängigkeit der Bindung

4. Geplante Weiterarbeit

AP 1: Mit den Ergebnissen der Analogieversuche erfolgt eine laufende Validierung und Anpassung des Simulationsmodells. Die Erstellung des Simulationsmodells wird, wie geplant, bis Ende dieses Jahres abgeschlossen sein. Aufgrund fehlender Kapazitäten bei der Programmierung kann die Erweiterung auf ganze Seilschleifwerkzeuge und die Evaluation des industriellen Einsatzes erst im nächsten Jahr erfolgen.

AP 3: Nach Abschluss der Einzelkornritzversuche werden im nächsten Schritt ganze Schleifperlen mit deterministischem Setzmuster eingesetzt und verschiedene Muster im Hinblick auf ihr Einsatzverhalten untersucht.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 Projektleiters: 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

AP2.1: Im aufgeführten Berichtszeitraum ist das Ziel dieses Arbeitspaketes die Untersuchung und Bewertung der Anwendung der gewählten Werkstoffe in dem avisierten additiven Fertigungsverfahren. Für die bereits im AP1.3 evaluierten Werkstoffsysteme wurde im Rahmen der hier dargestellten Arbeiten die Verwendung im Druckprozess zur Schneidperlengenerierung untersucht. So wurden die verwendeten Metall- und Legierungspulver in Bezug auf Partikelgrößenverteilung und Partikelmorphologie analysiert und die Ergebnisse als Basis für die Optimierung der Druckwerkzeugparameter bereitgestellt. Hierdurch wurde zum Beispiel die Gewebekonfiguration für das Siebdrucksieb angepasst und auf eine größere Maschenweite gewechselt. Bei der Erstellung der Druckpastensysteme konnten trotz verschiedener Pulvermaterialien zwei Basisformulierungen als Druckbares Medium verifiziert werden. Diese Pastensysteme wurden anschließend in Andrucktests erfolgreich und zum Teil auch reproduzierbar verdruckt. Einzig die Verwendung von nanoskaligen Granulatpulvern für die klassische Presstechnologie mit reaktiv-katalytischen Eigenschaften sind im Rahmen dieser Test gescheitert.

Im gleichen Zug wurden die CBN-Schleifpartikel in die Versuche mit eingebunden, um das Zusammenspiel von Setzwerkzeugen und Prozessparametern zu untersuchen. Auf Grund der bereits im letzten Berichtszeitraum erläuterten Probleme mit den CBN Partikelgrößen, wurde im Rahmen der Versuche ein Oberkornanteil von ca. 30 % ermittelt. Mit dieser Menge an nicht nutzbaren CBN-Partikeln ist ein gesicherter Fertigungsprozess nicht darstellbar.

Die geplante Priorisierung der finalen Werkstoffsysteme für die folgenden Arbeitspakete konnte auf Grund noch fehlender Analyseergebnisse nicht erfolgen und wird erst im nächsten Berichtszeitraum erfolgen.

AP2.2: Auf Basis von bereits evaluierten Verfahrensparametern wurden vom Fraunhofer IFAM die zwei zentralen Setzmusteranordnungen SM-1 und SM-2 ausgelegt und in die benötigte CAD Basis für die Druckwerkzeugerstellung überführt. Mit Start des Berichtszeitraumes standen verschiedene Drucksiebkonfigurationen für die Drucktests zur Schneidperle zur Verfügung, wobei neben der Materialvarianz auch die Schneidpartikelbeladung von 4 vol.-% bis 20 vol.-% mit erarbeitet wurde. Aus den erstellten Modellen wurden in den Druckversuchen Bauteile mit entsprechender Definition der CBN Partikel generiert. Wie in Abbildung 1 sehr gut zu erkennen ist, lässt sich die Beladung durch Wiederholung der versetzten Partikelebenen skalieren. So entsteht auch ein Versatz der Schneidpartikel in Schleifrichtung. Zur Finalisierung der gedruckten Schneidperlenbauteile wurden im Berichtszeitraum Versuche zum Wärmebehandlungsprofil gestartet, wobei die ersten Testbauteile für die Analogietests auf Basis vorhandener Ofenprofile bei verschiedenen Zieltemperaturen von 800 °C bis 1280 °C gefahren wurden.

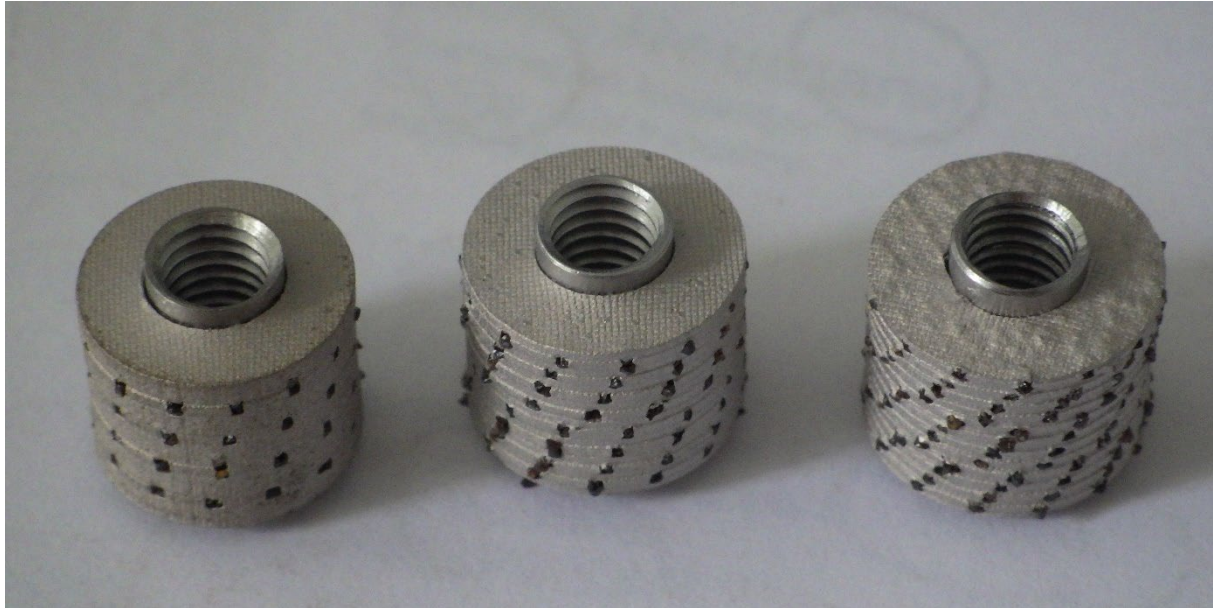


Abbildung 5: Finalisierte Schneidperlen aus dem 3D Druck mit integrierter Trägerhülse.

©Fraunhofer IFAM

AP2.3: Die weitere Bereitstellung technologischer Grundlagen wurde im Berichtszeitraum durch das Anfertigen angepasster Analyseproben gestartet und einige Analysethemen in Absprache mit den industriellen Partnern als Ringversuch geplant. So wird die Analyse der Gefügehärte parallel zu den Untersuchungen am Fraunhofer IFAM auch beim Projektpartner DIABÜ erfolgen und stellt somit den industriellen Bezug her.

4. Geplante Weiterarbeit

AP2.1: Die erstellten Druckwerkzeuge für AP2.2 werden in der ersten Iteration parallel weiter auch für die Werkstoffbewertung mit herangezogen, um die finale Anwendbarkeit der Werkstoffe und CBN-Partikel im Druckprozess zu bewerten. Neben den Materialuntersuchungen werden hierbei vor allem die Untersuchung und Entwicklung geeigneter Pasten Formulierungen weiterhin eine zentrale Rolle einnehmen. Eine stabile Druckpaste ist hierbei die Basis für optimale und reproduzierbare Parameter im Druckprozess. Im Laufe des nächsten Berichtszeitraumes werden parallel die Parameter der CBN Partikelgrößenverteilung modifiziert und optimiert.

AP2.2: Mit Ende des Berichtszeitraumes liegen die weiter optimierten Druckwerkzeuge für die nächsten geplanten Drucktests vor, womit parallel zu den Versuchen zur Bewertung der Werkstoffe und zur Entwicklung der Druckpasten auch der 3D Druck von Testkörpern und von Seilschleifperlen für die Analogietest weitergeführt werden kann.

AP2.3: Mit den bereits in Arbeit befindlichen Erstellung der Testgeometrien für die Analyse der Bindematrix, wird in der zweiten Jahreshälfte eine eingehende Analyse der Werkstoffparameter sowie die Wärmebehandlungsanalyse erfolgen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9429C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CEDIMA Diamantwerkzeug und Maschinenbaugesellschaft mbH	
Vorhabenbezeichnung: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), Teilprojekt: Einfluss der Verwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffan-ordnung 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

AP 1.1: Das Ziel dieses Arbeitspakets ist die Verfügbarkeit eines parametrischen Simulationsmodells zur Simulation des Seilschleifens mit Schleifsegmenten mit deterministischer Kornanordnung.

Um die Nutzbarkeit des Simulationsmodells für die industriellen Praxis sicherzustellen und Erfahrungen aus der Industrie für den Aufbau des Simulationsmodells zu nutzen, wurden in Gesprächen mit den Projektpartnern Anforderungen an die Simulation festgelegt. Zusätzlich zu den Setzmustern der Schleifsegmente sollen die Geometrie des Werkstücks (z. B. Block, Rohr), das Werkstückmaterial (Stahl, Beton) und die Prozessstellgrößen einstellbar sein. Relevante Ausgangsgrößen sind die Kräfte am einzelnen Korn und die Gesamtprozesskraft, die resultierende Maschinenleistung, die erreichbare Schnittfläche bzw. der Verschleiß der Schleifsegmente.

Das Simulationsmodell wurde erneut erweitert. Damit sind auch andere Geometrien als Zylinder möglich. Des Weiteren wurde der Verschleiß des Einzelkorns ins System integriert, um auch nach einem Kornversagen Aussagen über das Schleifverhalten des Setzmusters zu tätigen. Diese Ergänzungen ermöglichen eine differenzierte Simulation des Schleifprozesses. In der Untersuchung der Bindungswerkstoffe und Schneidstoffe ergab sich eine neue Betrachtung des derzeit bevorzugten CBN Materials, ein Vergleich verschiedener Hersteller zur Korngröße und Qualität wurde durchgeführt.

AP 1.2: Es wurden weitere Simulationen auf der Basis eines zentral zusammengesetzten Versuchsplanes durchgeführt. Dabei wurden die Korngröße, das Setzmuster und die Prozessstellgrößen systematisch variiert. Anhand der dabei generierten Daten wurde ein lineares Regressionsmodell erstellt, welches den Zusammenhang zwischen den Eingangsgrößen (Korngröße, Setzmuster und Prozessstellgrößen) und der mittleren Spannungsdicke je Korn beschreibt. Hier zeigt sich ein linearer Zusammenhang zwischen dem Kornabstand und der mittleren Eindringtiefe des einzelnen Korns. Die Spannungsdicke wird außerdem signifikant durch den axialen Kornabstand und den Versatz der Schleifkörner beeinflusst. Mit einem solchen Regressionsmodell ist es möglich, eine Optimierung des Setzmusters anhand verschiedener Zielgrößen vorzunehmen

AP 3: Es wurden Analogieversuche mit Einzelperlen durchgeführt, um eine wirtschaftlichere Zielerreichung zu ermöglichen, wurden dies auf Ringe reduziert. Mit diesen soll die Kornhaltkraft in einer bestimmten Bindung dargestellt werden, um damit die optimale Bindung für die Einsatzuntersuchungen zu ermitteln.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 1.1: Das Simulationsmodell wird stetig erweitert und angepasst.

Die Zusammensetzung und Auswahl der Bindungsmaterialien und Schneidstoffe wird weiterbearbeitet und anhand der erzielten Erkenntnisse aus der Simulation und den Praxisversuchen optimiert.

AP 1.2: Es werden weitere Simulationen mit dem Ziel der optimalen Setzparameter und Korngrößen durchgeführt.

AP 3: Weitere Analogieversuche sollen Aufschluss über die Kornhaltekräfte und das Bruchverhalten des CBN geben. Anhand der Ergebnisse wird ein bzw. zwei Bindungssysteme für die Testschleifseile ausgewählt.

AP 4: Nach den ersten Testaufbauten werden die endgültigen Testabläufe und Testaufbauten für die Einsatzuntersuchungen entwickelt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9429D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CCD Diamanttechnik	
Vorhabenbezeichnung: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie	
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.

Im ersten Halbjahr 2022 hat CCD Diamanttechnik die für die Durchführung großformatiger Seilschleifarbeiten unter realen Einsatzbedingungen erforderliche Sägemaschine in Form von transportablen Modulen erstmals auf einer Baustelle unter realen Einsatzbedingungen erfolgreich erprobt. Zum Einsatz kamen lediglich handelsübliche gesinterte Sägesäge für Beton und Mauerwerk, so dass zwar die Funktionalität der Säge bestätigt werden konnte, aber noch keine Referenzdaten für die Performance der Seile beim Trennschleifen metallischer Strukturen erzeugt wurden. Dies soll in der zweiten Jahreshälfte geschehen. Auf der Basis eines Abrollcontainers wurde eine Transport- und Lagerplattform für eine Stahlwalze aus dem hiesigen Warmwalzwerk hergestellt. Eine ausgemusterte Walze mit $\varnothing 685\text{mm}$, Länge 4.860mm und einer Masse von ca. 9.500kg wurde uns von den Stahlwerken zur Verfügung gestellt und befindet sich jetzt auf unserem Betriebsgelände und wird für Probeschnitte vorbereitet

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP5: Es werden fortlaufend potenzielle Probekörper und Rückbauprojekte für die Einsatzuntersuchungen im letzten Arbeitspaket gesichtet und gesammelt. Die vorstehend beschriebene Walze soll mit der Portalsäge bearbeitet werden, zunächst mit handelsüblichen gesinterten und galvanisierten Seilen zur Gewinnung von Vergleichsdaten. Mehrere Projekte im Bereich der Stahl erzeugenden Industrie, Lebensmittelindustrie und Industrieöfen wurden noch nicht terminiert oder verschoben.

Ein leistungsstarker Antrieb für die Portalsäge mit 30kW und Steuerung über Frequenzumrichter befindet sich in der Werkstatt im Bau.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Diverse Anwendungen der Seilschleiftechnik im industriellen Bereich

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9429E
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: DIABÜ-Diamantwerkzeuge Heinz Büttner GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), 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.

Die deterministischen Kornanordnungen wurden in einem ersten Simulationslauf hin untersucht und mit Erfahrungen aus der Sägepraxis verglichen. Anhand der Simulation der Kornanordnung im Werkzeug konnten aus den vielen Einflussparametern die wichtigsten Stellgrößen ermittelt werden. Diese theoretisch ermittelten Hauptparameter scheinen sich mit der Praxis zu decken und sollen in die weitere Werkzeugauslegung einfließen. Dabei wurden in Gesprächen mit den Projektpartnern weitere Prozessstellgrößen ermittelt, wie die Schnittkräfte am Korn, die Korngröße und deren Abstand im Werkzeug, das zu zerspanende Material, der Verschleiß und die Zerspanungsleistung. Zusätzlich wurde mit der Recherche zu geeigneten Bindungswerkstoffen für das geplante Vorhaben begonnen und weitere Pulver und Lieferanten gefunden.

Für die Druck- und Pastenentwicklung wurden erste Metallpulver ausgesucht und zeitnah bestellt und an das IFAM geliefert. Parallel wurden extern Pasten- und Druckversuche initiiert. Die extern beauftragten Werkzeuge wurden direkt bei 3 Kunden im Produktionsprozess getestet. Die extern beauftragten Pasten- und Druckversuche zeigten noch deutliche prozessbedingte Nachteile, wie Poren oder Fehlstellen.

Hier mussten weitere Schleifen mit dem Ziel der Prozesssicherheit und Verfahrensoptimierung zeitintensiv beauftragt werden. Die Schneidkörner sitzen nämlich noch zu locker in den gedruckten Kavitäten.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Nachdem im ersten Schritt die Simulationsmodelle mit den Projektpartnern diskutiert wurden, wurde das Lastenheft und das Modell erweitert. Basierend auf der ersten Recherche zu geeigneten Bindungswerkstoffen erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner IFAM die Beschaffung und Analyse zusätzlicher Bindungswerkstoffe und Schneidpartikel.

AP2: Sobald die weiteren Simulationen mit den kraftgeregelten Zustellungen Ergebnisse liefern, wird das optimale Setzmuster zusammen mit den Projektpartnern weiterentwickelt, um erste Prototypen mit den ausgewählten Setzmustern herzustellen. Die ersten Ritzversuche wurden am IFW mit CBN in Stahl getestet und bewertet. Es wurden auch verschiedene Setzmuster miteinander verglichen.

AP3: Parallel hat DIABÜ erste Prototypen mit einem bei DIABÜ neu entwickelten Setzmuster extern herstellen lassen, das auf einem Prüfstand vom IFW und gleichzeitig in der Sägepraxis getestet werden soll. Die Simulation dieses Setzmusters sah ebenfalls vielversprechend aus. Der Test des DIABÜ Setzmusters am IFW steht noch aus, da weiter an der Optimierung der externen Versuchsreihen gearbeitet wird. Es konnten aber schon 6 Versuchsseile in Einsatz gebracht werden, um die Performance im Sägebetrieb für Hartgestein zu testen. Diese Versuche ergeben wertvolle Erkenntnisse, damit die geplanten Schneidperlen/Testseile optimal für die Sägeversuchsreihe am IFW in Stahl ausgelegt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9430A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Werkstoffkunde	
Vorhabenbezeichnung: 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 Teilprojekt: 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-Schneidverfahrens, 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 Stromübertragung auf die rotierende Elektrode dar. Derzeit ist die Übertragung von Arbeitsströmen zwischen 850-3000 A nur durch große taktile Stromübertrager oder durch eine Stromübertragung mittels flüssigem Quecksilber möglich.

Zielsetzung des Projektes ist sowohl das Verfahren als auch die Schneidwerkstoffe weiterzuentwickeln und im Portfolio der thermischen Schneidverfahren für den kerntechnischen Rückbau zu etablieren. Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgt der Bau einer sowohl leistungs- sowie anwendungsfähigen Demonstratoranlage mittels welcher diese Technik (CAMG-Verfahren) 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 indem 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-/pulverbasierten 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 wird. 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 in Zusammenarbeit mit dem Partner EWN neu ausgelegt werden, um einen entsprechend hohen Leistungsbereich abdecken zu können. Bisherige Erfolge der Flüssigmetallstromübertragung werden genutzt und Gallium als nicht gefährdende Variante für den Flüssigkeitsstromübertrager 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)

- In Zusammenarbeit mit den Lieferanten konnte die Inbetriebnahme der Laserstrahlschweißanlage in Arbeitspaket A/1 durchgeführt werden. Diese beinhaltete sowohl die Einrichtung einer geeigneten Kommunikation zwischen den Teilsystemen als auch eine Verschaltung der bereits am Unterwassertechnikum vorhandenen Sicherheitstechnik für die Schutzkabine. Damit kann die Sicherheit der Mitarbeiter vor dem Laser, dem Roboter und weiteren Gefahren gewährleistet werden. Darüber hinaus erfolgten erste Anwendungen des Systems. Hierbei war das Ziel das Gelernte aus den Schulungen für den Roboter und den Laser anzuwenden und erste Schweißnähte zu fertigen. Dabei wurde festgestellt, dass nicht nur die Laserparameter, sondern auch die Programmierung des Roboters einen großen Einfluss auf die Schweißnahtqualität besitzen. Bisher erfolgten Untersuchungen an unlegiertem Baustahl und einem chromhaltigen Edelstahl.
- Die wissenschaftliche Recherche zu den Werkstoffsystemen wurde im Arbeitspaket A/2 beendet. Aufgrund einer entsprechenden Verfügbarkeit und einer guten Literaturlage erfolgte zuerst eine Konzentration auf die Eisenbasiswerkstoffe. Dabei wurde zum Abschluss die Option von Karbiden und Nitriden diskutiert, welche beispielsweise als Wolframkarbid einen Einfluss auf das Schmelzverhalten und die Härte des Werkstoffs besitzen. Bisher sind noch keine Legierungen untersucht worden, die sowohl einen ausreichend hohen Schmelzpunkt und die geforderte elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Dies bekräftigt die im Antrag beschriebene Notwendigkeit zur weiteren Erforschung weiterentwickelter Legierungen und von Verbundwerkstoffen.
- Die Literatur und die ersten Ergebnisse aus Arbeitspaket A/3 legen nahe, dass die Wärmeenergie im Bauteil einen großen Einfluss auf die gefertigten Strukturen hat. Neben der Laserleistung gibt es beispielsweise mit materialspezifischen Eigenschaften und Wartepausen weitere Faktoren, die hierbei einen Einfluss besitzen. Ganz konkret wirkt sich das auf die Schweißnahtbreite und –höhe aus. Um die gewünschten Geometrien anforderungsgerecht fertigen zu können, ist daher eine genaue Kenntnis

über das Verhalten des entsprechenden Werkstoffs notwendig. Aktuell werden daher Versuchsreihen geplant, um eine nähere Erforschung der Temperaturverteilung im Bauteil während des Prozesses zu ermöglichen. Dabei spielt die Bauteilgeometrie eine entscheidende Rolle, welches die Komplexität der Untersuchungen erhöht und die Übertragung auf die CAMG-Elektroden erschwert.

- Für das Arbeitspaket B/1 erfolgte die Fertigstellung des Lastenheftes sowie die Erstellung des Pflichtenheftes auf dessen Basis. Durch dieses Dokument ist eine erste Dokumentation eines Teils der bisherigen Arbeiten erfolgt.
- Im Arbeitspaket B/2 erfolgte die Berechnung und Auslegung der Einzelkomponenten zur Kraftübertragung vom Antrieb bis zur Schneidelektrode. Durch den erforderlichen Mindestdurchmesser der Schneidscheibe kann in Bezug auf die minimal erforderliche Umfangsgeschwindigkeit die Reibleistung und damit die minimale Antriebsleistung berechnet werden. Optimale Einsatzbedingungen für diesen Anwendungsfall bietet ein Wasserhydraulikmotor, der sich durch seine hohen Drehzahlen und die geringe Anzahl an Versorgungsanschlüssen auszeichnet. Die entsprechenden Bauteile wurden mit der Software SolidWorks konstruiert und in einer Baugruppe zusammengebaut. Erste Fertigungszeichnungen wurden erstellt und die benötigten Halbzeuge dementsprechend bestellt. Eine Vorauswahl der Zukaufteile wurde getroffen und bei den Herstellern in Form von Angeboten bereits angefragt.
- Zur Berechnung und Auslegung des Stromübertragungsmoduls in Arbeitspaket B/3 wurden verschiedene Möglichkeiten der Stromübertragung verglichen. Die Nutzung von Kohlebürsten ist aufgrund des großen Bauraums bei der Übertragung von hohen Strömen von 1000 – 6000 A nicht realisierbar. Eine weitere Möglichkeit der Stromübertragung auf eine rotierende Welle bietet ein Schleifringkörper mit einer Gold/Gold-Übertragungstechnik. Die Nachteile dieser Variante liegen in der begrenzten Drehzahl und den deutlich höheren Kosten gegenüber den Alternativmöglichkeiten. Durch die Berechnung und den Bau eines eigens entwickelten Stromübertragungsmoduls mit einer durch Gallium realisierten Stromübertragung zwischen Stator und Rotor kann dieses direkt auf den zur Verfügung stehenden Bauraum ausgelegt werden. Die Berechnungen und die Konstruktion der Bauteile erfolgte in diesem Arbeitspaket.
- In Arbeitspaket C/1 wurden die bisherigen Arbeiten zusammengetragen und für eine Gesamtdokumentation aufbereitet. Die Bearbeitung dieses und der Folgenden Arbeitspakete aus dem Arbeitspaket Komplex C läuft parallel zu den anderen beiden Komplexen und wird ständig fortgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Die Arbeiten in Arbeitspaket A/3 sollen fortgeführt werden und auf mehrere Werkstoffe erweitert werden. Dafür werden aktuell Gespräche mit Händlern geführt, in denen die Möglichkeiten der Verwendung von Sonderwerkstoffen für die Anlage betrachtet werden. Neben der Korngröße oder dem Drahtdurchmesser bezieht sich dies beispielsweise auch auf die Duktilität des Drahtes, um einen Sprödbruch im Drahtvorschub zu vermeiden.
- Im Rahmen des Arbeitspaketes A/3 soll die Anlage darüber hinaus um eine Luftkühlung erweitert werden. Damit kann die Wärmeenergie aus kritischen Stellen schneller abgeführt werden. Daraus resultiert eine geringere Wartezeit und eine schnellere Abkühlrate. Es sind jedoch Untersuchungen notwendig, welche Einflüsse dies auf die weiteren Eigenschaften des Bauteils besitzt.

- In Arbeitspaketes A/4 wird ein Modellexperiment entworfen, um das Verschleißverhalten bestimmter Werkstoffe näher zu betrachten. Dabei steht die Nachbildung möglichst realitätsnaher Umgebungsbedingungen im Vordergrund, um erste Aussagen bereits vor den Schneidversuchen treffen zu können.
- Von den in Arbeitspaket B/2 konstruktiv erstellten Bauteilen sollen die noch fehlenden Fertigungszeichnungen abgeleitet und zur Fertigung in die Werkstatt des Institutes weitergeleitet werden. Die Zukaufteile sollen nach Erhalt der nötigen Angebote bestellt werden.
- Um das Arbeitspaket B/3 abzuschließen, sollen von den in der Software SolidWorks konstruierten Bauteilen des Stromübertragungsmoduls Fertigungszeichnungen erstellt sowie die zur Fertigung benötigten Halbzeuge bestellt werden.
- Der Aufbau und die Inbetriebnahme der Technikumsanlage soll in dem Arbeitspaket B/5 erfolgen. Dazu sollen die in den Arbeitspaketen B/2 und B/3 gefertigten Bauteile mit den zu den Baugruppen entsprechenden Kaufteilen zusammengebaut und einzeln auf ihre Funktion geprüft 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: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9430B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogenrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilprojekt: CAMG-Anwendung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 147.772,23 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Ing. (FH) Torsten Wollermann	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: torsten.wollermann@ewn-gmbh.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.

Für den Rückbau von kontaminierten und aktivierten Metallstrukturen (z. B. Reaktorbauteile) stellt das fernhantierte Arbeiten unter einer Wasserabdeckung eine wichtige technologische Säule dar. Hierzu sind robuste und sicher durchführbare Technologien erforderlich, die fernhantiert unter einer Wasserabdeckung zum Einsatz kommen können, welche als Alternativverfahren nebeneinander in einer Art „Werkzeugkasten“ für den Einsatz in möglichen Rückbautechnologien angeordnet sind.

Schon in der Angebotsplanung sind Unternehmen gefordert, Rückbauaufgaben sehr konkret bzw. umfassend zu planen und die Trenntechniken festzulegen, welche nach dem Stand der Technik umfassend bzgl. den Sicherheitsanforderungen als auch den Einsatzbedingungen entsprechend geprüft werden müssen. Im Forschungsprojekt wird das CAMG-Schneiden thematisiert, um es für den praktischen Einsatz vorzubereiten. Zielsetzung des Projektes ist es, sowohl das CAMG-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 Maschinenteknologie des CAMG-Schneidverfahrens aus dem labortechnischen Bereich in den anwendungstechnischen Bereich zu übertragen.

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-Schneidverfahrens, 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 Stromübertragung auf die rotierende Elektrode dar. Derzeit ist die Übertragung von Arbeitsströmen zwischen 850-3000 A nur durch große taktile Stromüberträger oder durch eine Stromübertragung mittels flüssigem Quecksilber möglich.

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkstoffkunde (UWTH) der Gottfried-Wilhelm Leibniz Universität Hannover 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.

Die Durchführung des Projektes gliedert sich in drei Komplexe. Im Komplex A wird der Scheibenelektrodenverschleiß bewertet indem zunächst gut verfügbare und günstige Werkstoffe für den Prozess als Elektrode genutzt werden. Für die unterschiedlichen Elektrodenwerkstoffe werden die Schneidaten 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-/Pulverbasierten 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 wird. 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 in Zusammenarbeit mit dem Partner EWN neu ausgelegt werden, um einen entsprechend hohen Leistungsbereich abdecken zu können. Bisherige Erfolge der Flüssigmetallstromübertragung werden genutzt und Gallium als nicht gefährdende Variante für den Flüssigkeitsstromüberträger 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)

- Die wissenschaftliche Recherche zu den Werkstoffsystemen wurde im Arbeitspaket A/2 mit der UWTH thematisiert und sich über den weiteren Ansatz verständigt. Im Einzelnen ist die Thematik des grundlegenden Werkstoffeinsatzes zur Ausführung der Schneidelektrode analysiert und zur weiteren gemeinsamen Planung abgestimmt. Im Ergebnis bilden die Eisenwerkstoffe auf Grund der guten Verfügbarkeit sowie der Leitfähigkeit und des guten Aufschmelzverhaltens eine sichere Basis zur Herstellung von Drähten und Pulvern für den Laserstrahlprozess. Desweiteren sollen für die

Herstellung der Elektroden Werkstoffe wie Kupfer auf Grund der sehr guten elektrischen Leitfähigkeit, sowie Kohlenstoff zur Steigerung der Härte verwendet werden. Durch die Beimischung von Kobalt kann die Warmfestigkeit des Werkstoffes gesteigert werden, um so einen hochbelastbaren Werkstoff zu erhalten. Um den Schmelzpunkt des Werkstoffes zu erhöhen soll Wolfram verwendet werden, welches sich durch einen Schmelzpunkt von über 3000°C stark von anderen Bestandteilen abhebt. Einen weiteren Ansatz für Untersuchungen bietet ein Nickelbasiswerkstoff mit dem ein Elektrodenwerkstoff mit hohen Härtewerten sowie einer hohen Zähigkeit und Duktilität hergestellt werden kann.

- Basierend auf Informationen und Randbedingungen aus realen Anwendungsfällen wurde im Arbeitspaket B/1 der Entwurf eines Lastenheftes in gemeinsamer Zusammenarbeit der UWTH/EWN erstellt. Das Lastenheft teilt sich dabei grob in zwei Bereiche. Zum einen wurden aus den Erfahrungen aus der Praxis die Zielgrößen für den Prozess wie Materialdicke, Bauteilausführung und Manipulationsraum konkretisiert. Neben den Prozessanforderungen wurden die Geräteanforderungen mit Unterkapiteln definiert. So konnten die Anforderungen an die Stromübertragung, die Kraftübertragung und die Abdichtung der Anlage einzeln spezifiziert werden.
- Zur Auslegung und Konstruktion des Kraftübertragungsstranges wurden im Arbeitspaket B/2 Recherchen über die auf dem Markt verfügbaren Komponenten durchgeführt. Speziell der Antrieb, die Kupplung, das Getriebe und die Abtriebswelle bilden die Hauptkomponenten, die aufeinander abgestimmt werden und zudem einen möglichst kleinen Bauraum einnehmen sollen.
- Teilnahme an kerntechnischen Veranstaltungen zum Erfahrungsaustausch mit marktbegleitenden Rückbauunternehmen bzgl. den Erkenntnissen, Schwierigkeiten und möglichen Lösungsansätzen aus den bisherigen Rückbautätigkeiten.
- Ausführungen im Rahmen des Arbeitspaketes B1/B2
 - Weiterführende Ausarbeitung des Pflichten- und Lastenheftes
 - Erstellung und Entwicklung von 3D-Konstruktionsunterlagen zur Darstellung und Bewertung der Baustrukturen bzw. Einrichtungskomponenten
 - Erstellung von CAD-Modellen zur weiteren Bewertung bezüglich Konstruktionsdetails
 - Konstruktionsplanungen zur Fertigungsdokumentation von Mockups
 - Abstimmung zur Übergabe von digitalen Konstruktionsdateien zur weiteren Verwendung innerhalb der Entwurfs-/Ausführungsplanung

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Abschluss zum Arbeitspaket A/2, unter Berücksichtigung der vorherrschenden Werkstoffe in Bezug auf die benötigten charakteristischen Eigenschaften (wie Härte, elektrische Leitfähigkeit usw.).
- Für das Arbeitspaket B/1 ist die Fertigstellung des Lastenheftes und der notwendigen Vorprüfunterlagen (VPU) nach Durchsicht der beiden Projektpartner geplant. Basierend auf dem Lastenheft soll im nächsten Schritt ein Pflichtenheft formuliert werden. In diesem Arbeitsschritt wird ebenfalls in enger Zusammenarbeit ein gemeinsames Dokument erstellt.
- Ausführungen im Rahmen des Arbeitsbereiches B1/B2
 - Erstellung und Entwicklung von 3D-Konstruktionsunterlagen zur Darstellung und Bewertung der Baustrukturen bzw. Einrichtungskomponenten

- Erstellung von CAD-Modellen zur weiteren Bewertung bezüglich Konstruktionsdetails
- Unterlagenerstellung zur Fertigung von Mockups
- Abstimmung zur Übergabe von digitalen Konstruktionsdateien zur weiteren Verwendung innerhalb der Entwurfs-/Ausführungsplanung

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: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9434A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden, 01062 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA) Teilvorhaben: Entwicklung von Werkzeugen zur In-Situ-Analyse von Betoneigenschaften, Radionukliden und hydraulischer Loch-zu-Loch-Permeabilität sowie Befundkartierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2021 bis 31.08.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.719.613,39 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Uwe Hampel	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: uwe.hampel@tu-dresden.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Während der Beprobung der Betonstrukturen des Reaktorgebäudes im Kernkraftwerk Stade wurden Kontaminationen in der Betonkalotte, also dem unteren Teil des Reaktorsicherheitsbehälters, vorgefunden. Diese wurden durch Primärkreiswasser während des Anlagenbetriebes eingetragen. Es ist davon auszugehen, dass dieses Problem auch andere kerntechnische Anlagen in Deutschland und weltweit betrifft. Für den Rückbau der Betonstrukturen ist ein Ermitteln und Kartieren der Kontaminationen notwendig. Dies erfolgt nach dem aktuellen Stand der Technik durch Kernbohrungen und Laboranalysen des Bohrkernmaterials. Dabei schränken fehlende Zugänglichkeit, baustatische Randbedingungen und Kosten die Zahl der Beprobungsbohrungen ein. Eine Alternative zu Kernbohrungen sind Bohrungen ins Volle. Mit schmalen Bohrlöchern können deutlich mehr Bohrungen gesetzt werden, ohne die Baustatik zu gefährden. Da bei diesem Bohrverfahren keine Bohrkerne für eine Analytik zur Verfügung stehen, müssen neue Mess- und Analysetechniken entwickelt werden. Im Verbundvorhaben werden Mess- und Analyseverfahren entwickelt, mit denen es möglich ist, in-situ das Vorhandensein von Kontaminationen, deren Lage im Beton, deren Nuklidvektor, lokale Feuchte und Porosität der Betonmatrix sowie die Präsenz von Borverbindungen zu ermitteln. Für die hydraulische Permeabilität zwischen den Bohrungen werden Modellierungswerkzeuge entwickelt und angewendet. Weiterhin wird ein Konzept zur elektronischen Dokumentation von Daten aus Rückbauprojekten erarbeitet, welches für zukünftige Rückbauprojekte nutzbar ist.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Der Gesamtarbeitsplan des Verbundes sieht die folgenden vier Arbeitspakete (AP) vor.

AP 1: Entwicklung einer rohrgängigen Sonde zur tiefenaufgelösten Bestimmung von Dosisleistung, Feuchte und Porosität:

- Vergleichende Bewertung von Impedanzspektroskopie und Radartechnik,
- Messung der Dosisleistung mittels OSL-Detektoren,
- Entwicklung einer aktiven Sonde zur Bewertung des Strahlungsfeldes,
- Auslegung, Konstruktion, Aufbau u. Erprobung der Messlanze,
- Erprobung der Technik im Feld (KKS) und Bewertung,
- Iterative Verbesserung der Empfindlichkeit und räumlichen Auflösung des Messverfahrens.

- AP 2: Entwicklung einer Methodik zur Betonbeprobung durch einen laserbasierten Betonabtrag an Bohrlochwand, pneumatischem Austrag des Aerosols und In-Situ-Analyse der Radionuklide und Bor:
- Vergleich verschiedener Abtragverfahren,
 - Entwicklung einer Sonde zur Probennahme in Betonrohren,
 - Abscheidung des Probenahmegutes,
 - Analyse des Betonabtrags als Funktion der Abtragstiefe im Bohrloch,
 - Vergleichsmessungen an realen Strukturen.
- AP 3: Entwicklung eines Messverfahrens zur Ermittlung der Loch-zu-Loch-Permeabilität mittels Tracergas:
- Konzepte zur Messung der hydraulischen Durchlassfähigkeit von Arbeitsfugen,
 - Permeationsversuche im Labormaßstab,
 - Realmaßstäbliche Versuche im KKS,
 - Analytische Modellierung und Vorhersagemodell für die Durchlassfähigkeit vorgefundener Betonstrukturen.
- AP 4: Kartierung, elektronische Dokumentation, Beprobungsplanung, Wissensmanagement:
- Entwicklung eines Softwaremoduls zur Befundvisualisierung,
 - elektronische Dokumentation,
 - systematische Dokumentation informellen Rückbauwissens,
 - Übertragung der Ergebnisse auf weitere Rückbauvorhaben.

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

AP 1: Nach Abschluss der Literaturrecherchen zur Feuchte- und Porositätsmessung mittels Impedanzspektroskopie und Radartechnik, wurde die Machbarkeit der Impedanzspektroskopie anhand von Softwarephantomen in COMSOL®-Multiphysics untersucht. Ziel der Untersuchungen war die Ermittlung geeigneter Frequenzbereiche, Elektrodengeometrien und -abstände zur sicheren Quantifizierung von Feuchte unabhängig von der Betonstruktur. Parallel dazu wurden erste Untersuchungen mittels des kommerziell erworbenen Impedanzspektrometers an 12 durch TUD-IfB bereitgestellten Betonprobekörpern (mit und ohne Armierungseisen) unternommen. Die Arbeiten zur Vermessung mittels Radartechnik dauern noch an. Die finale Lanzengeometrie ist auf Grund der ausstehenden finalen Lochgeometrie (erreichbarer Durchmesser) noch offen. Die erforderliche endoskopische Kameraoptik für die Messlanze wurde jedoch bereits unter Annahme eines Außendurchmessers von 20 mm bei der Firma Thalheim Spezialoptik beauftragt. Etwaige Anpassungen auf größere Durchmesser sind im Nachgang problemlos möglich.

Am IKTP wurde ein Prototyp einer aktiven faseroptischen Szintillationssonde unter Nutzung einer optischen Kunststoffaser sowie eines GAGG-Szintillationskristalls erstellt. Durch Messungen mittels radioaktiver Quellen in einem hergestellten Betonphantom konnte die Machbarkeit spektroskopischer Messungen nachgewiesen sowie der Einfluss des Betons auf den Strahlungstransport untersucht werden. Die Verbindung mit einer bereits vorhandenen Datenerfassungseinheit ermöglicht den Einsatz eines ersten, handgehaltenen Prototyps zur mobilen Datenaufnahme und -analyse. Zur Bestimmung des Auftretens einer Kontamination wird der Kolmogorov-Smirnov-Test eingesetzt, mit dem in ersten Untersuchungen die Anwesenheit einer Kalibrierquelle in Beton statistisch signifikant nachgewiesen werden konnte. Im Rahmen einer Bachelorarbeit von Lena Alshut wurde das Ansprechen der aktiven und passiven Sonde auf Strahlungsquellen in Beton untersucht und mittels Messungen

validiert. Durch die gezeigte Übereinstimmung können verschiedene Kontaminationsszenarios flexibel untersucht werden. Eine Publikation zum hergestellten Prototypen wurde zur Veröffentlichung angenommen. Passive OSL-Detektoren stehen einsatzbereit zur Verfügung.

AP 2: Auf der Grundlage der verfügbaren Fachliteratur wird ein detaillierter Vergleich zwischen verschiedenen Abtragsverfahren durchgeführt. Im Ergebnis wurde eine laserbasierte Sonde zur Probenahme ausgewählt. Es wurde ein Teststand aufgebaut, in den ein vorhandener Nd:YAG-Laser CL150 integriert wurde, um Untersuchungen zum Abtrag von Beton mit verschiedenen Laserparametern (Leistung, Pulsfrequenzen) an durch den Projektpartner TUD-IfB bereitgestellten Betonproben durchzuführen. Das Ziel war es, die für einen maximalen Betonabtrag optimalen Laserparameter zu finden. Mittels 3D-CAD-Programm SolidWorks® wurde simuliert, wie das Design eines Versuchsaufbaus optimiert werden kann, um parallel zur Beton-Probenahme eine synchrone Analyse durchzuführen. In speziellen Fall soll dazu ein vorhandenes Massenspektrometer eingesetzt werden. Zusätzlich wurden Experimente mit einem optischen Spektrometer durchgeführt, um dessen Einsatzmöglichkeit für die synchrone Analyse von Bor zu testen.

AP 3: Aus der einschlägigen Literatur geht hervor, dass das Eindringen von Radionukliden in den Kernreaktorbeton von drei Transportmechanismen bestimmt wird: Permeabilität, Sorption und Diffusion. Um diese Mechanismen zu untersuchen, wurden Betonbedingungen vor Ort im Inneren des Reaktorgebäudes ermittelt und eine Anfrage nach Daten an unseren Partner VPC übermittelt. Zur Bestimmung der Betoneigenschaften wurden Abmessungen und weitere Details über die benötigten Betonproben an VKTA übermittelt und die Probekörper werden in Kürze an das IfB geliefert. In Ermangelung echter Proben wurden am IfB Betonproben hergestellt, die anhand genereller Überlegungen den Beton des KKKU repräsentieren. Diese Proben wurden in gewünschte Formen geschnitten und an die Partner HZDR und WKET verteilt.

AP 4: Während des ersten Projekttreffens in Dresden am 10.05.2022 wurden Anforderungen an die Befundvisualisierung und Kartierung erstmals zwischen den Projektpartnern TUD-PBM, PEL und VND abgestimmt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1: Die COMSOL-Simulationen für die Impedanzspektroskopie werden abgeschlossen und die Ergebnisse der Optimierung werden anhand von Beton-Probekörpern mittels des Impedanzspektrometers für verschiedene Feuchtegehalte überprüft. Die Arbeiten zur Radartechnik werden fortgeführt. Es erfolgt eine finale Verfahrensbewertung. Das Design der Messlanze wird anhand der Ergebnisse der Voruntersuchung bzgl. Elektrodengeometrie und Abstände weiter vorangetrieben, die endoskopische Optik wird ebenfalls integriert.

Am IKTP soll der erstellte Prototyp der aktiven Strahlungssonde durch Einsatz von größeren Szintillationskristallen und Lichtwellenleitern mit größerem Durchmesser verbessert werden. Dabei soll die Sensitivität erhöht werden, wodurch die benötigte Messzeit zum statistisch signifikanten Nachweis einer Kontamination verringert werden soll. Weiterhin soll der Einsatz eines weiteren Szintillationsmaterials (CeBr₃) in Kombination mit einem Wellenlängenschieber geprüft werden, wodurch eine höhere Energieauflösung erhofft wird. In Zusammenarbeit mit PBM soll ein weiteres Betonphantom erstellt werden, welches der

Zusammensetzung des Kraftwerkbetons entspricht. Es sollen verschiedene Methoden zum statistisch signifikanten Nachweis einer Kontamination verglichen werden, namentlich der Kolmogorov-Smirnov-Test angewandt auf die Pulsladungs- und Zeitdifferenzverteilung der Detektorereignisse und der Studentsche T-Test angewandt auf die Zählrate. Die Ergebnisse fließen in die Erstellung der Software zur automatisierten Erkennung einer erhöhten Strahlungsexposition ein. Messungen direkt am Kernkraftwerk Unterweser wären wünschenswert.

AP 2: Abtragsverfahren haben andere wichtige Faktoren wie die erforderlichen Kosten, die später anhand einiger Kostendaten von spezialisierten Unternehmen in diesem Bereich verfolgt werden. In den bereits aufgebauten Teststand soll der innerhalb dieses Projektes finanzierte Laser Nd:YAG-Laser TruPulse nano integriert werden, um die Laser-Beton-Wechselwirkungen zu untersuchen. Unter anderem sollen die verschiedenen Wellenformen dieses Lasers genutzt werden, um die Beton-Abtragsmenge zu optimieren. Die bereits konstruierte Bearbeitungsbox zur Durchführung von Laborversuchen mit integriertem Massenspektrometer soll gefertigt, aufgebaut und getestet werden. Parallel dazu wird eine detaillierte Simulation mittels COMSOL®-Multiphysics vorbereitet, um das optimale Design für die Insitu-Probenahmesonde zu ermitteln. Es ist vorgesehen, die Ergebnisse der von TUD-WKET durchgeführten spektrometrischen Untersuchungen mit den Ergebnissen der vom Projektpartner VKTA durchgeführten spektroskopischen Analyse zu vergleichen.

AP 3: Die von KKV erhaltenen Betonproben werden charakterisiert, um ihre Zusammensetzung und andere wichtige Eigenschaften wie Dichte, Porosität, Festigkeit usw., zu erhalten. Sobald die Zusammensetzung festgelegt ist, werden gezielt abgestimmte Betonproben hergestellt, die zur weiteren Untersuchung der Radionuklid-Transporteigenschaften von Beton verwendet werden. Experimente zu Permeabilität, Sorption und Diffusion werden zusammen mit Computermodellierungen dieser Transportmechanismen durchgeführt.

AP 4: In den kommenden 6 Monaten werden ein Anforderungskatalog sowie die Schnittstellen des Software-Plug-Ins durch PEL und VND definiert. Im Anschluss werden die Grundstruktur des Softwaremoduls sowie die zu verwendenden Programmierertools seitens PBM festgelegt und mit den Projektpartnern abgestimmt und es wird mit dem Coding begonnen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 – 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9434B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., D-01328 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus Teilprojekt: Analytik für die Beprobung von Beton	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2021 – 31.08.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 151.739,80 €
Projektleiter/-in: Dr. Henry Lösch	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Henry.Loesch@vkta.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Verbundvorhaben KOBKA sollen Mess- und Analyseverfahren entwickelt werden, mit denen es möglich sein soll, in-situ das Vorhandensein von Kontaminationen, deren Lage im Beton, deren Nuklidvektor, lokale Feuchte und Porosität der Betonmatrix sowie die Präsenz von Borverbindungen zu ermitteln. Für die hydraulische Permeabilität zwischen den Bohrungen werden Modellierungswerkzeuge entwickelt und angewendet. Weiterhin wird ein Konzept zur elektronischen Dokumentation von Daten aus Rückbauprojekten erarbeitet, welches für zukünftige Rückbauprojekte nutzbar ist. Der VKTA ist innerhalb des Projektes vorrangig bei der Betonanalyse bzw. dem Vergleich des Messsystems zur konventionellen Analytik im Labor beteiligt. Gleichzeitig ist der VKTA durch seine verfügbare Infrastruktur in der Lage, gezielt kontaminierte Betonprobekörper herzustellen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 2 Rohrgängiges Probenahmesystem zur In-situ-Analyse radioaktiver Kontamination im Beton und nuklidspezifischer Aktivitäten

AP 2.1 Vergleich verschiedener Abtragsverfahren – Zuarbeit WKET (09/2021-02/2022)

AP 2.4 Analyse des Betonabtrages als Funktion der Abtragstiefe im Bohrloch (05/2023-04/2024)

AP 2.5 Vergleichsmessungen an realen Strukturen (03/2024-08/2024)

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Aus dem KKW Unterweser liegt dem VKTA momentan ein Bohrkern vor. An diesem erfolgte eine gammaspektrometrische Bestimmung bezüglich künstlicher Radionuklide. Die Auswertung zeigt, dass keine künstlichen Radionuklide vorliegen. Die radiochemische Analyse auf H-3 und C-14 ergab Werte unterhalb der Freigrenze, so dass Arbeiten außerhalb eines Überwachungsbereiches möglich sind. Weiterführend wird der Bohrkern in der gewünschten Form an die Projektpartner zur weiteren Verwendung verteilt. Die Herstellung gezielt kontaminierter Probekörper erfolgt auf Wunsch von WKET nach erfolgter Betoncharakterisierung.

4. Geplante Weiterarbeit

Fortführung der oben genannten AP.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 – 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9434C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: PreussenElektra GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA); Teilvorhaben: Elektronische Ergebnisdokumentation, Beprobungsplanung und Wissensmanagement	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2021 bis 31.08.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 255.397,17 €
Projektleiter/-in: Wolfgang Bertram	E-Mail-Adresse des Projektleiters: wolfgang.bertram@preussenelektra.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Während der Beprobung der Betonstrukturen des Reaktorgebäudes im Kernkraftwerk Stade wurden Kontaminationen in der Betonkalotte, also dem unteren Teil des Reaktorsicherheitsbehälters, vorgefunden. Diese wurden durch Primärkreiswasser während des Anlagenbetriebes eingetragen. Es ist davon auszugehen, dass dieses Problem auch andere kerntechnische Anlagen in Deutschland und weltweit betrifft. Für den Rückbau der Betonstrukturen ist ein Ermitteln und Kartieren der Kontaminationen notwendig. Dies erfolgt nach dem aktuellen Stand der Technik durch Kernbohrungen und Laboranalysen des Bohrkernmaterials. Dabei schränken fehlende Zugänglichkeit, baustatische Randbedingungen und Kosten die Zahl der Beprobungsbohrungen ein. Eine Alternative zu Kernbohrungen sind Bohrungen ins Volle. Mit schmalen Bohrlöchern können deutlich mehr Bohrungen gesetzt werden, ohne die Baustatik zu gefährden. Da bei diesem Bohrverfahren keine Bohrkerne für eine Analytik zur Verfügung stehen, müssen neue Mess- und Analysetechniken entwickelt werden. Im Verbundvorhaben werden Mess- und Analyseverfahren entwickelt, mit denen es möglich ist, in-situ das Vorhandensein von Kontaminationen, deren Lage im Beton, deren Nuklidvektor, lokale Feuchte und Porosität der Betonmatrix sowie die Präsenz von Borverbindungen zu ermitteln. Für die hydraulische Permeabilität zwischen den Bohrungen werden Modellierungswerkzeuge entwickelt und angewendet. Weiterhin wird ein Konzept zur elektronischen Dokumentation von Daten aus Rückbauprojekten erarbeitet, welches für zukünftige Rückbauprojekte nutzbar ist.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Der Gesamtarbeitsplan des Verbundes sieht die folgenden vier Arbeitspakete (AP) vor.

AP 1: Entwicklung einer rohrgängigen Sonde zur tiefenaufgelösten Bestimmung von Dosisleistung, Feuchte u. Porosität:

- Vergleichende Bewertung von Impedanzspektroskopie u. Radartechnik
- Messung der Dosisleistung mittels OSL-Detektoren
- Entwicklung einer aktiven Sonde zur Bewertung des Strahlungsfeldes
- Auslegung, Konstruktion, Aufbau u. Erprobung der Messlanze
- Erprobung der Technik im Feld (Kernkraftwerk Stade) u. Bewertung
- Iterative Verbesserung der Empfindlichkeit u. räumlichen Auflösung des Messverfahrens

- AP 2: Entwicklung einer Methodik zur Betonbeprobung durch einen laserbasierten Betonabtrag an Bohrlochwand, pneumatischem Austrag des Aerosols u. In-Situ-Analyse der Radionuklide u. Bor:
- Vergleich verschiedener Abtragverfahren
 - Entwicklung einer Sonde zur Probennahme in Betonrohren
 - Abscheidung des Probenahmegutes
 - Analyse des Betonabtrags als Funktion der Abtragstiefe im Bohrloch
 - Vergleichsmessungen an realen Strukturen
- AP 3: Entwicklung eines Messverfahrens zur Ermittlung der Loch-zu-Loch-Permeabilität mittels Tracergas:
- Konzepte zur Messung der hydraulischen Durchlassfähigkeit von Arbeitsfugen
 - Permeationsversuche im Labormaßstab
 - Realmaßstäbliche Versuche im KKS
 - Analytische Modellierung u. Vorhersagemodell für die Durchlassfähigkeit vorgefundener Betonstrukturen
- AP 4: Kartierung, elektronische Dokumentation, Beprobungsplanung, Wissensmanagement:
- Entwicklung eines Softwaremoduls zur Befundvisualisierung
 - Elektronische Dokumentation
 - Systematische Dokumentation informellen Rückbauwissens
 - Übertragung der Ergebnisse auf weitere Rückbauvorhaben

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

PreussenElektra ist im Verbundvorhaben an AP 4, sowie an AP 1 und 3 im späteren Verlauf beteiligt.

AP 3: Aus der einschlägigen Literatur geht hervor, dass das Eindringen von Radionukliden in den Kalottenbeton von drei Transportmechanismen bestimmt wird: Permeabilität, Sorption und Diffusion. Um diese Mechanismen zu untersuchen, sollen die Betonbedingungen vor Ort im Inneren des Reaktorgebäudes ermittelt werden. Ursprünglich wurden die Arbeiten für das Kernkraftwerks Stade (KKS) geplant. Auf Grund der dort nahezu abgeschlossenen Arbeiten zum Ausbau des Kalottenbetons sind die Planungen auf das Kernkraftwerk Unterweser übertragen worden, das vor der gleichen Problematik steht. Zur Bestimmung der Betoneigenschaften wurde dem Projektpartner VKTA eine Bohrkernprobe aus dem Kalottenbereich des Kernkraftwerks Unterweser (KKU) zur radiologischen Bewertung übersandt. Die Bewertung seitens VKTA ist mittlerweile erfolgt. Bohrkernstücke werden den anderen Projektpartnern zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt. Um unabhängig von der Probenbereitstellung aus dem KKU zu sein, wurden am IfB Betonproben hergestellt, die anhand genereller Überlegungen den Beton des KKU repräsentieren. Diese Proben wurden in gewünschte Formen geschnitten und an die Partner HZDR und WKET verteilt.

AP 4: Während des ersten Projekttreffens in Dresden am 10.05.2022 wurden Anforderungen an die Befundvisualisierung und Kartierung zwischen den Projektpartnern TUD-PBM, VND und PEL abgestimmt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP 3: Die Betonproben aus KGU werden in Dresden charakterisiert, um ihre Zusammensetzung und andere wichtige Eigenschaften wie Dichte, Porosität, Festigkeit usw., zu erhalten. Sobald die Zusammensetzung festgelegt ist, werden gezielt abgestimmte Betonproben hergestellt, die zur weiteren Untersuchung der Radionuklid-Transporteigenschaften von Beton verwendet werden.

AP 4: In den kommenden 6 Monaten werden ein Anforderungskatalog sowie die Schnittstellen des Software-Plug-Ins durch VND und PEL definiert. Im Anschluss werden die Grundstruktur des Softwaremoduls sowie die zu verwendenden Programmierertools seitens PBM festgelegt und mit den Projektpartnern abgestimmt und es wird mit dem Coding begonnen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 30.11.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 893.472,98 €
Projektleiter/-in: Jörg Konheiser	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: j.konheiser@hzdr.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

In diesem Teilvorhaben werden die dafür benötigten genauen 3D 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 Gammaskpektrometrie oder anderer Methoden werden die entstandenen Aktivitäten gemessen und zur Validierung der Rechnungen genutzt.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 1: Die Arbeiten an der Erweiterung des Reaktormodells wurden fortgesetzt und sind praktisch abgeschlossen. Das Reaktormodell umfasst jetzt auch die Räume des Primärkreislaufes, inklusive der Hauptkühlmitteleitung, des unteren Teils des Dampferzeugers und die Hauptkühlmittelpumpe.

AP 2: Nach der erreichten Brennstofffreiheit werden als erstes die Reaktoreinbauten entsorgt. Diese Komponenten befanden sich unmittelbar am Kern und sind somit am meisten aktiviert. Für deren Verpackung ist es sehr wichtig, die Strahlungsbelastung exakt zu kennen. Deshalb wurde die Neutronenfluenzverteilung in mehreren RDB-Komponenten in einem sehr feinen Netz und mit sehr kleinen statistischen Unsicherheiten neu berechnet. Außerdem wurden jetzt die BE-Zentrierstifte in das Modell zusätzlich integriert. Die Bestimmung der Neutronenfluenz der Stifte wurde unter Berücksichtigung der realen Einsatzzeiten durchgeführt, denn diese wurden in den Revisionen 1990, 1991, 1993 und 1995 ausgetauscht. Zusätzlich wurden erste Rechnungen des erweiterten Modells durchgeführt. Mit diesen wurden und werden Parameter zur Optimierung der Rechnungen ermittelt und ausgetestet.

AP 3. Die gammaspektrometrische Bestimmung der Aktivierungen der Monitore aus dem Referenzkraftwerk 2, welche im Oktober 2021 entnommen wurden, wurde fortgesetzt. Die geplante Entnahme im Februar 2022 der letzten Monitorsätze aus der abgeschalteten Referenzanlage 1 konnte erst Ende März und April durchgeführt werden, da erst zu diesem Zeitpunkt die Möglichkeit bestand, die entsprechenden Räumlichkeiten zu betreten. Die Monitore wurden Ende Juni nach Rossendorf geliefert. Entsprechend verzögert sich die Auswertung dieser Monitore mittels Gammaskpektrometrie.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Die Optimierung des Reaktormodells wird fortgesetzt. Unabhängig davon wird das Modell, entsprechend neuer Erkenntnisse, laufend erweitert und angepasst.

AP 2: Für das erweiterte Modell werden die entsprechenden Neutronenfluenzverteilungen berechnet. Durch die zu erwartenden Schwierigkeiten bei der Erzeugung ausreichender Genauigkeiten wird der Fokus auf der Optimierung der Rechnungen liegen. Auch der Vergleich

mit den gemessenen Aktivitäten von den Monitoren ist dabei für die Validierung des Modells von Bedeutung. Nach Beendigung des letzten Zyklus werden die Quellen für die Referenzanlage 1 neu berechnet.

AP 3: Die Bestimmung der Aktivitäten der Monitorsätze aus Referenzkraftwerk 1 mittels Gammaskpektrometrie wird fortgeführt. Ausgewählte Aktivierungsprodukte (z.B. Nb-93m aus Nb) werden für ausgewählte Monitorpositionen mittels LSC bestimmt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

WERREBA Projekt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Barkleit, A.; Rachamin, R.; Yassin, G.; Pönitz, E.; Konheiser, J.: Experimental activation determination in and on components of nuclear power plants and comparison with activity calculations. RadChem 2022 (19th Radiochemical Conference, 15.-20.05.2022, Mariánské Lázně, Czech Republic) – Vortrag

J. Konheiser, R. Rachamin, A. Barkleit, P. Yadav, "Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenflussverteilungen (EMPRADO)", Vortrag, FORKA Statusseminar 2022, am 24. und 25. Mai. 2022, in Berlin

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9409B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWTH Aachen, Institut für Nukleare Entsorgung und Techniktransfer (NET)	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen“ – EMPRADO Titel des Teilprojekts: Entwicklung und Anwendung einer Methode zur genauen Berechnung der Aktivitäts- und Dosisleistungsverteilung von KKW für optimalen Rückbau	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2018 bis 30.11.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 694.085,52 €
Projektleiter/-in: Dr. Frank Charlier / Prof. Dr. R. Nabbi	E-Mail-Adresse des Projektleiters: Charlier@net.rwth-aachen.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

Das vorliegende Forschungsprojekt verfolgt drei wesentliche Ziele:

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

Der Titel des Teilprojektes der RWTH Aachen lautet:

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Realisierung des Verbundvorhabens erfolgt in mehreren aufeinander abgestimmten Arbeitspaketen (AP). Die AP 4 und 5 werden im Teilprojekt 2 der RWTH Aachen, 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

Die im Rahmen von AP-4.1 geplanten Arbeiten sind bereits vor diesem Berichtszeitraum wie vorgesehen durchgeführt worden und sind somit abgeschlossen.

AP 4.2: Berechnung und Verifizierung der 3D-Aktivitätsverteilung

Im Berichtszeitraum konzentrierten sich die Arbeiten auf die Verifizierung der Modellrechnungen für die erste DWR-Anlage des Typs VOR-KONVOI sowie auf die 3D-Aktivierungsberechnung für eine 2. Anlage des Typs KONVOI. Dementsprechend wurden zunächst Vergleichsrechnungen (Code-by-Code Validierung) mit dem internationalen Programmsystem SCALE durchgeführt. Der Vergleich erfolgte am Beispiel des Reaktordruckbehälters sowie der Strukturen des äußeren biologischen Schildes. Bedingt durch den Unterschied der verwendeten Datenbanken der beiden Programmesysteme wurden Unterschiede in Höhe von maximal 16 %, abhängig vom Radionuklid, festgestellt. Damit wurde die Leistungsfähigkeit und Genauigkeit des entwickelten Rechenverfahrens für die Aktivierungsberechnungen bestätigt.

Des Weiteren wurde unter Anwendung des entwickelten Programmsystems und des Anlagenmodells die Berechnung der Aktivitätsverteilung für eine zweite Anlage des Typs KONVOI unternommen, wobei die entsprechenden Betriebsparameter und nuklidspezifische Materialzusammensetzung der einzelnen Bauteile zugrunde gelegt wurden.

AP 5.1: Bestimmung der Verteilung der Strahlungsquellterme

Die im Rahmen von AP-5.1 geplanten Arbeiten sind bereits vor diesem Berichtszeitraum wie vorgesehen durchgeführt und somit abgeschlossen.

AP 5.2: Simulation des Strahlenfelds und der ODL-Verteilung

Aufgrund der Laufzeitverlängerung des Teilprojekts wurden die für diesen Berichtszeitraum vorgesehenen Arbeiten (AP-5.2) in das 1. Halbjahr 2023 verlagert.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 4.1: Erstellung Datenbibliothek für Aktivierungsberechnungen

Diesbezüglich sind im nächsten Berichtszeitraum keine weiteren Arbeiten geplant.

AP 4.2: Berechnung der 3D-Aktivitätsverteilung

Im Rahmen dieses Arbeitspakets erfolgt die Auswertung der Ergebnisse der bereits durchgeführten Aktivierungsberechnungen (AP-4.1) sowie die Generierung von 3D Aktivierungsatlanten, welche die Grundlage für die Optimale Planung und Realisierung von Rückbaumaßnahmen sind. Darüber hinaus werden Vorbereitungen zur Erstellung des Projektberichts für das Arbeitspaket AP-4 getroffen.

AP 5.1: Bestimmung der Verteilung der Strahlungsquellterme

Aufgrund der Laufzeitverlängerung des Teilprojekts werden die im Rahmen dieses AP vorgesehenen Arbeiten im 2. Halbjahr 2023 erfolgen.

Dabei ist die Berechnung der Verteilung der Spektralen Quellterme im Gesamtmodell einer weiteren DWR-Anlage des Typs KONVOI geplant. Die dabei entstehenden Ergebnisse werden die Datengrundlage für die Berechnung der Verteilung des Gamma-Flusses und der ODL für den KONVOI-Reaktor bilden, in dessen Rechenmodell die Materialzusammensetzung und Fluenzwerte von denen der VOR-KONVOI-Anlage unterscheiden. Nach Fertigstellung und unter Zugrundelegung dieser Dateien werden Strahlentransportberechnungen mit dem Rechenmodell der 2. Anlage durchgeführt (im Rahmen des AP-5.2).

AP 5.2: Simulation des Strahlenfelds und der ODL-Verteilung

Als Gegenstand dieses AP-5.2 wird in der verlängerten Projektphase (Beginnend 1.1.2023) zunächst ergänzende Strahlentransportberechnungen (Programm MCNP) durchgeführt, um die Beiträge der restlichen Anlagenteile zum Strahlenfeld (Gammafluss und ODL) im gesamten Modell der VOR-KONVOI-Anlage zu bestimmen. Nach der Auswertung der Ergebnisse erfolgt die Berechnung des integralen Strahlenfelds der Anlage durch die additive und gewichtete Kombination der Datenfelder. Darüber hinaus wird in der derselben Projektphase, unter dem Einsatz der existierenden Visualisierungsroutine, die Generierung von 3D ODL-Atlanten unternommen, welche die Grundlage für die Optimale Planung und Realisierung von Strahlenschutz- und Rückbaumaßnahmen sind. Des Weiteren ist die Berechnung der Verteilung der ODL und des Gamma-flusses für eine 2. Anlage (KONVOI) geplant, welche unter Zugrundelegung der generierten Quelltermdateien (aus AP-5.1) und Anwendung des Simulationsverfahrens erfolgt.

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

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: Development and application of a high-dimensional method for activity analysis and dose rate calculation” Jahrestagung „Strahlenschutz und Entsorgung“, Sept. 2021, Aachen

M. Nolden, et al “Simulation based radiological Characterization of Nuclear Reactors for decommissioning: Development and Application of a High-Dimensional Model for Activity Analysis”

EU-RadWaste 2022, Lyon, France

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 Neutronenfluenz- und Aktivitätsverteilungen

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 1: ist abgeschlossen

AP 2: Aus den Betonbohrkernen vom KKW Greifswald wurden kleinere Bohrkernkerne entnommen und teilweise aufgemahlen. An ausgewählten Proben wurden mittels ICP-MS die Elementzusammensetzung und mittels Gammasspektrometrie die Aktivitäten von Cs-137, Ba-133, Eu-152, Eu-154 und Co-60 bestimmt. An einer geeigneten Methode zur radiochemischen Nuklidabtrennung für die anschließende Bestimmung von Tc-99, Fe-55 und Ni-63 in RDB-Stahl und Betonproben wurde weitergearbeitet.

AP 3: Betonproben, die im Rahmen des EMPRADO-Projektes für einen halben und einen ganzen Zyklus bestrahlt wurden, und zum Vergleich unbestrahlte Referenzproben wurden mittels Synchrotron-XRD (an der ESRF in Grenoble, an der Rossendorfer Beamline ROBL) auf strukturelle Strahlungsschäden untersucht. Eine Peakverbreiterung mit zunehmender Bestrahlungszeit lässt auf zunehmende Zerstörung des Kristallgitters schließen.

AP 4: Die Testrechnungen für den Reaktordeckel und Beton wurden abgeschlossen. Die Aktivitätsberechnung deutet auf eine – erwartet – niedrige spezifische Aktivität des Reaktordeckels und eine überraschend niedrige Aktivierung des Betons hin, die noch experimentell verifiziert werden müssen. Die finalen Strahlungstransport-Rechnungen für Proben aus dem Reaktordruckbehälter, für die im Rahmen früherer Projekte Aktivitätsmessungen durch VKTA erfolgten, wurden abgeschlossen. Die finalen Rechnungen für Proben aus dem Reaktordruckbehälter, für die im Rahmen von WERREBA Messungen erfolgten bzw. geplant sind, wurden begonnen.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: ist abgeschlossen.

AP 2: Weitere Betonproben aus Greifswald sollen aufgemahlen und die Elementzusammensetzung mittels ICP-MS bestimmt werden. Die Aktivitäten sollen mittels Gammasspektrometrie (Cs-137, Ba-133, Eu-152, Eu-154 und Co-60) und LSC nach oxidativer Verbrennung (H-3, C-14) bzw. radiochemischer Trennung (Fe-55, Ni-63 nach Etablierung des Verfahrens) bestimmt werden. Für ausgewählte RDB-Stahlproben soll die Elementzusammensetzung mittels OES und die Aktivitäten mittels Gammasspektrometrie (Co-60) und LSC nach oxidativer Verbrennung (C-14) bzw., wenn möglich, nach radiochemischer Abtrennung (Tc-99, Ni-63, Fe-55) bestimmt werden.

AP 3: Zeta-Potentialmessungen und Auflösungsversuche an aktivierten Mineralien (Aktivierung im Rahmen des EMPRADO-Projektes) werden innerhalb einer Bachelorarbeit durchgeführt. Betonproben (Pulver, kleine Bohrkernkerne) aus den Greifswalder Bohrkernen werden umfangreich mittels XAS/XRD (ROBL-Beamline in Grenoble), ²⁷Al-MAS-, ²⁹Si-NMR, μ -Raman-Spektroskopie, REM/EDX und μ -CT charakterisiert

AP 4: Die Strahlungstransport-Rechnungen für die Probenpositionen im Reaktordruckbehälter werden bis voraussichtlich Mitte August abgeschlossen. Anschließend erfolgen die finalen Rechnungen für die Probenpositionen im Reaktordeckel und Beton, für die bis dahin Konzentrations- und Aktivitätsmessungen vorliegen. Für den Strahlungstransport-Code SERPENT II werden ein Geometriemodell erstellt und anschließend Vergleichsrechnungen durchgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

EMPRADO Projekt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Roode-Gutzmer, Q. I.; Barkleit, A.; Rachamin, R.; Hennig, C.; Weiß, S.; Paasch, S.; Konheiser, J.; Stumpf, T.: Neutron-irradiated concrete: Structural characterisation and gamma dosimetry. RadChem 2022 (19th Radiochemical Conference, 15.-20.05.2022, Mariánské Lázně, Czech Republic) – Vortrag

Barkleit, A.; Rachamin, R.; Yassin, G.; Pönitz, E.; Konheiser, J.: Experimental activation determination in and on components of nuclear power plants and comparison with activity calculations. RadChem 2022 (19th Radiochemical Conference, 15.-20.05.2022, Mariánské Lázně, Czech Republic) – Vortrag

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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). 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 (im Berichtszeitraum)

AP 2 Simulation, Modellierung

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

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

2.6 Modell- und Algorithmenentwicklung (8/2021-10/2022)

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)

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

4.4 Fertigstellung der Bildrekonstruktions-Software (10/2022-6/2023)

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

Abgeschlossene Arbeitspakete:

AP 1

Abgeschlossene Programmpunkte:

AP 2.2, 3.1

Laufende Programmpunkte:

AP 2.5, 2.6

AP 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6

AP 4.1, 4.3, 4.4

Projektmeetings und Seminare:

- 3. Projektmeeting am 15.02.22
- FORKA Statusseminar 24./25.05.22

Für das Projekt getätigte Investitionen:

- Zucht und Herstellung 3"x3" Cerbromid-Kristall
- Scionix Szintillationsdetektor mit 3"x3" Cerbromid-Kristall
- Zweitlizenz SODIGAM Gammaspektrometrie-Software

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse:

Deliverable D3 „Definition der Detektorgruppen“ wurde um eine weitere Gerätevariante mit einer konischen Anordnung aus acht Szintillationsdetektoren ergänzt; diese Detektorgruppe wurde im Zuge der Arbeiten von AP 2.5 spezifiziert.

In AP 2.6 wurde mit der Ausarbeitung eines Algorithmus begonnen, der ein Markowketten Monte Carlo (MCMC) Verfahren nutzt, mit dem die Emissionsdichte im Bildraum rekonstruiert werden kann. Der Algorithmus wird zunächst für den RSL7 entwickelt und mit Messdaten aus AP 4.3 getestet.

In AP 3 werden zwei Messsysteme, der RSL7 und der RSL2, aufgebaut. Das erste Gerät, der RSL7, ist fertig aufgebaut und mit einer LabView-basierten Datenakquisition betriebsbereit. Das Gerät wurde am 10. Juni 2022 von Herrn Kaden in Jena abgeholt und wird seitdem im Strahlenlabor der HSZG genutzt. Ein zweites Gerät, der RSL2, wird derzeit montiert und eingerichtet. Erste Kontrollmessungen in AP 3.4 wurden mit thoriumhaltigen Wolframelektroden, Kobalt-60 Quellen und dem natürlichen Strahlungsuntergrund durchgeführt. Der RSL2 kann in Bälde an die Projektpartner ausgeliefert werden und steht dann für Arbeiten in AP 4 zur Verfügung.

In den Versuchsreihen von AP 4 soll demonstriert werden, dass die Bildrekonstruktions-Software funktioniert, unterschiedliche Kontaminationsobjekte korrekt abgebildet werden und die Qualitätsmerkmale und Gerätekenndaten werden bestimmt. Erste Messkampagnen zu diesem Zweck wurden in AP 4.3 von der HSZG durchgeführt. Von unserer Seite unterstützen wir diese Arbeiten bei der Auswertung der Versuchsreihen und bringen neue Vorschläge ein.

In der ersten Versuchsreihe in AP 4.3 stand der RSL7 in einem Abstand von einem Meter vor einer Wand, an der in unterschiedlichen Positionen eine Cs-137 Quelle angebracht war. Eine von uns durchgeführte Auswertung hatte zum Ziel, die Messgenauigkeit bezüglich der Lokalisation und der Aktivität der Quelle zu bestimmen, unter der Annahme, dass es sich um eine Punktquelle handelt. Wir haben die Auswertung mit einer in der Elektrotechnik unter dem Namen „Quadratische Demodulation“ bekannten Technik ausgeführt, mit der die Amplitude und Phase von sinusförmigen Signalen bestimmt werden können, die zeitdiskret abgetastet werden. Die Technik der „Quadratischen Demodulation“ lässt sich auf Compton Kameras übertragen, die eine axialsymmetrische Anordnung der Detektoren besitzen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die gemessenen Comptonwinkel-Verteilungen mit den sinusförmigen Signalen, die von der Cs-137 Quelle ausgehen:

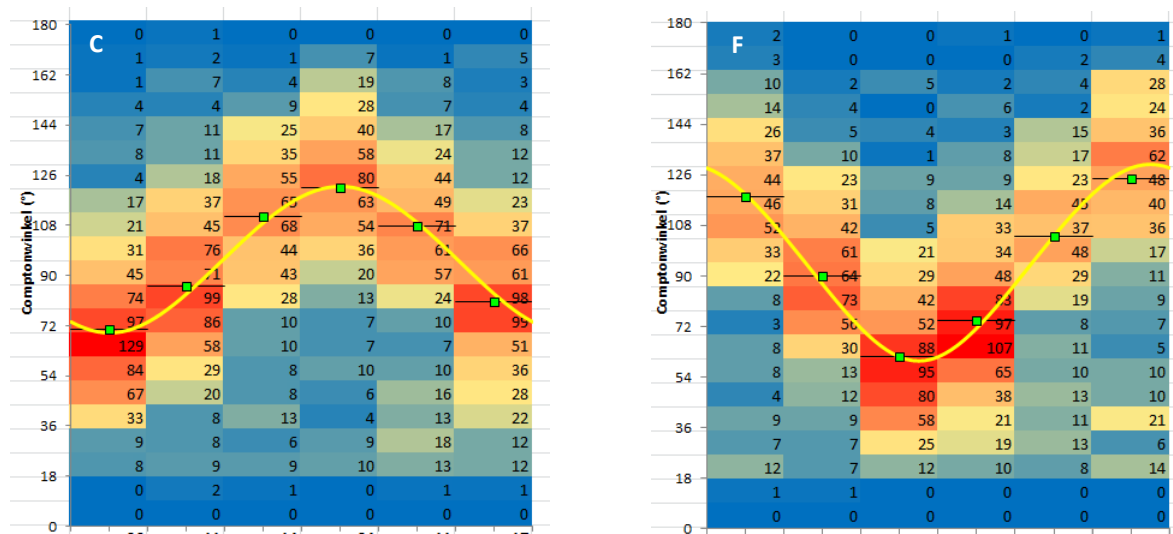


Abb 1. Gemessene Projektionsdaten einer Cs-137 Quelle bei den Positionen C und F. Die Messung wurde vom Projektpartner HSZG ausgeführt und von Hellma ausgewertet.

Die Phase der Sinuskurve ist identisch mit dem Azimutwinkel der Quelle auf der Wand und die Amplitude enthält das Informationssignal über den Radius der Quellenposition. Die Auswertung ergab, dass der Azimutwinkel der Cs-137 Quelle mit einer Genauigkeit von 2° bestimmt werden kann. Bezüglich des Radius gab es eine Tendenz, dass dieser bis zu 15% unterschätzt wird, was jedoch durch eine Vorselektion abgemildert werden kann, die Outlier aussortiert. Die Aktivität der Quelle konnte mit einer Genauigkeit von ca. 3% gemessen werden.

Ein weiteres Ergebnis war, dass die Kalibration – insbesondere der PVT-Detektoren – verbesserungsfähig ist. Aufgrund fehlender Photo-Peaks im Gammaspektrum von PVT-Detektoren ist deren Kalibration nicht trivial. Es wurde ein neues Kalibrationsverfahren vorgeschlagen, das den Koinzidenz-Betriebsmodus mit einem Cerbromid-Detektor nutzt. Das Verfahren ist eine Variante des unter dem Namen „Wide-Angle Compton Coincidence (WACC) Technique“ bekannten Kalibrationsverfahrens. Üblicherweise wird ein Reinstgermanium-Detektor herangezogen, um einen PVT-Detektor zu kalibrieren. In unserem Verfahren wird der Reinstgermanium-Detektor durch einen Cerbromid-Detektor ersetzt.

Die Arbeiten in AP 3.5 kamen zu dem Ergebnis, dass die von den Geräten aufgezeichneten Gammasppektren der Cerbromid-Detektoren nicht mit SODIGAM, sondern mit einer projektinternen Software ausgewertet werden sollen, die eine Entfaltung der Spektren in die

einzelnen Nuklide vornimmt. Freundlicherweise hat sich die FAU-Gruppe von Prof. Burger bereit erklärt, die Entfaltung vorzunehmen. Eine projektinterne Software gibt uns mehr Flexibilität über die Nuklidentifikation und die Integration mit der Bildrekonstruktions-Software. SODIGAM wird weiterhin genutzt; jedoch beschränkt sich die Nutzung jetzt auf die offline-Auswertung von Gammaskpektren und die Bestimmung der Response-Funktionen der Kristalle.

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

Die Arbeiten zu AP 2 und AP 3 sind weitgehend abgeschlossen und sollen in Bälde fertiggestellt werden. Mit den Arbeiten zu AP 4 wurde begonnen, hier wird der inhaltliche Schwerpunkt im nächsten Halbjahr liegen. Als nächster Meilenstein wird der RSL2 an die HSZG ausgeliefert, womit dann zwei funktionstüchtige Geräte vorliegen werden. Gemeinsam mit der FAU-Gruppe werden wir den Projektpartner HSZG bei der Auswertung der Versuchsreihen unterstützen. Es ist geplant, neue LabView Software-Versionen zu entwickeln, die die Funktionalität der Geräte kontinuierlich verbessern. Die vorgesehenen Features umfassen:

- Kalibration der PVT-Detektoren mit WACC-Technik
- Installation der Hellma Bildrekonstruktionssoftware (MCMC-Verfahren)
- Installation der FAU Bildrekonstruktionssoftware (List Mode MLEM-Verfahren)
- Entfaltung der Cerbromid-Gammaskpektren mit integrierter Nuklidentifikation
- Fertigstellung und Inbetriebnahme des RSL2

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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

2.1 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)

Die Hauptarbeit im letzten Halbjahr bezog sich auf AP 2.6, Modell- und Algorithmen-Entwicklung und AP 3.6, Softwareprogrammierung Bildrekonstruktion.

In Zusammenarbeit mit den anderen Projektparteien konnten die konzipierten Algorithmen an simulierten Daten aus dem Monte Carlo Simulationspaket FLUKA getestet werden. Tests an einfachen Geometrien wie Punktquellen und an Nukliden mit einer oder wenigen Emissionsenergien (Caesium 137, Cobalt 60) wurden erfolgreich durchgeführt. Die Erhöhung der Komplexität in der Geometrie der Quelle zeigte, dass bin-mode basierte Rekonstruktionsverfahren den list-mode Verfahren tendenziell überlegen sind, wenn die genaue Konstruktion einer passenden Regularisierung gewählt werden muss.

Ein bereits existierendes Compton-Kamera-Setup lieferte gegen Ende des Halbjahres erste Daten aus echten Messungen, mehr dazu im Bericht der Projektpartner HSZG/Hellma. Die Tests der Bildrekonstruktion an diesen Daten zeigt, dass die Koinzidenzen recht gut mit den simulierten Daten übereinstimmen, die Algorithmen aber einige weitere Unsicherheiten berücksichtigen müssen, um stabile Rekonstruktionen zu erzeugen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Eine entscheidende Eingabeinformation in die in Betracht gezogenen Rekonstruktionsalgorithmen ist eine Nuklidbibliothek, die übergeben werden muss, um die Quellen und deren Stärke zuverlässig rekonstruieren zu können. In Abstimmung mit Hellma wurde beschlossen, dass die FAU in ihre Arbeitspakete (vor allem 2.6, 3.6, 4.4) zusätzlich zu den Rekonstruktionen auch die Erstellung dieser Nuklidbibliothek übernehmen wird. Das geplante Verfahren beruht auf einer L1-regularisierten Entfaltung der in den Detektoren deponierten Energiespektren mithilfe der typischerweise von einzelnen Nukliden deponierten Spektren. Die Konzipierung dieses Schrittes und die Umsetzung als Code und später in der Software auf dem fertigen Gerät stellt einen Teilfokus der weiteren Arbeit dar.

Abgesehen davon liegt der Hauptfokus auf der Verbesserung der Modellierung des Messsystems durch den Rekonstruktionsalgorithmus. Es wird notwendig sein, das Modell weiter zu verbessern und zu testen, um in komplexen Geometrien und unter geringeren Koinzidenzzahlen im Anwendungsfall sicher und stabil eine Quellenverteilung rekonstruieren zu können.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Die geplante Compton-Kamera wird mit Kristallen sowohl in Streu- als auch in Absorptionskomponenten ausgestattet sein. Das erlaubt Koinzidenzen, bei denen die genaue Richtung des Prozesses unbekannt ist (in sog. bidirektionalen Detektorpaaren). Es wurden mathematische Untersuchungen zu diesem Setup durchgeführt und es ist weiterhin geplant, eine Veröffentlichung über dieses bisher in der Literatur nicht ausreichend betrachtete Setup anzufertigen. Dazu fehlen noch weiterführende Untersuchungen und Tests an echten Kameras mit dem bidirektionalen Setup.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 Schönmuth	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 (im Berichtszeitraum)

AP 1 Planung und Entwurf

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)

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)

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

Zu AP 1.5

Die Planungen zu den AP 4 und AP 5 wurden 2022 fortgesetzt. Die Abmessungen einer vertikal stehenden, planaren 2D-Quellenwand mit linearen Verfahreinheiten zur Positionierung von Quellen (Versuchsstand *GARAY TF*) sind mit einem Raster von ca. 2 × 3 m vorgesehen. Die Spezifizierung der vorgesehenen Absorberwände zwischen Quellen und Gamma-Kamera ergibt die Möglichkeit einer Abstandsvariation von bis zu 1 m zur Quelle.

Zu AP 2.3

Entsprechend der Auswahl relevanter Nuklide (siehe HJB 2021-2) wurde zur Ergänzung des im Strahlenlabor der HSZG vorhandenen 8 Stück Quellsatzes Cs-137 mit einer aktuellen Aktivität von je 17,8 MBq die Anschaffung eines 8 Stück Co-60 Quellsatzes mit einer Liefer-Aktivität von 18,5 MBq je Punktquelle für die Nutzung in den Labortests der Gamma-Kameras im Strahlenlabor in Absprache mit dem Projektpartner VKTA festgelegt. Die Beschaffung erfolgt nach Freigabe der Mittel durch den Projektträger. Die Festlegung der Nuklidvektoren zwischen den Projektpartnern für die Laborversuche ist abgeschlossen.

Zu AP 2.4

In Absprache mit HELLMA wurden die Detektorgruppen 1 bis 4 (planare DG) sowie die ausschließlich aus CeBr₃ bestehenden DG 5 und DG 7 bereits für die finale Version der Gamma-Kamera ausgeschlossen, da sie im Vergleich zu den Detektorgruppen mit mind. 2 Detektorebenen deutlich weniger Koinzidenzereignisse aufweisen. Die FLUKA-Simulationen wurden um zwei Modifikationen der DG 6 (6a und 6b) und eine neue DG 9 erweitert. Beispielhaft ist die FLUKA-Simulation der DG 9 mit einer Punktquelle in *Abbildung 1* gezeigt.

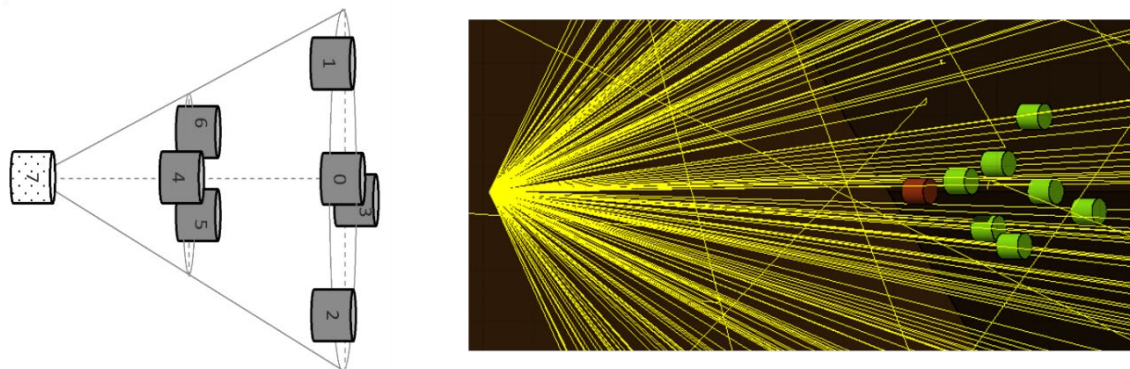


Abbildung 6: links – Aufbau der Detektorgruppe 9, bestehend aus einem Plastikszintillator als Streudetektor und 7 Cerbromid-Szintillatoren als Absorptionsdetektoren. Die Detektoren sind in 3 Ebenen angeordnet. Rechts – Darstellung von 200 Simulationsergebnissen einer Punktquelle und der Detektorgruppe 9 in FLUKA.

Zu AP 2.5

Die quantitativen Aussagen der Simulationsrechnungen wurden für einen CeBr₃-Detektor (Durchmesser 2“) durch Simulationen eines Einzeldetektors sowie Messungen an einem CeBr₃-Detektor, der vom Projektpartner HELLMA zur Verfügung gestellt wurde, verifiziert. Verwendet man bspw. ¹³⁷Cs als Quelle, so ergeben sich für Simulation und Messung die in *Abbildung 2* dargestellten Impulshöhenspektren. Das simulierte Spektrum stimmt sehr gut mit dem tatsächlich gemessenen Spektrum überein. Dies gilt sowohl für die Form und Lage der

charakteristischen Peaks als auch für die Zahl der Impulse pro Messkanal. Die Ergebnisse wurden durch Untersuchungen an sieben weiteren Nukliden bestätigt.

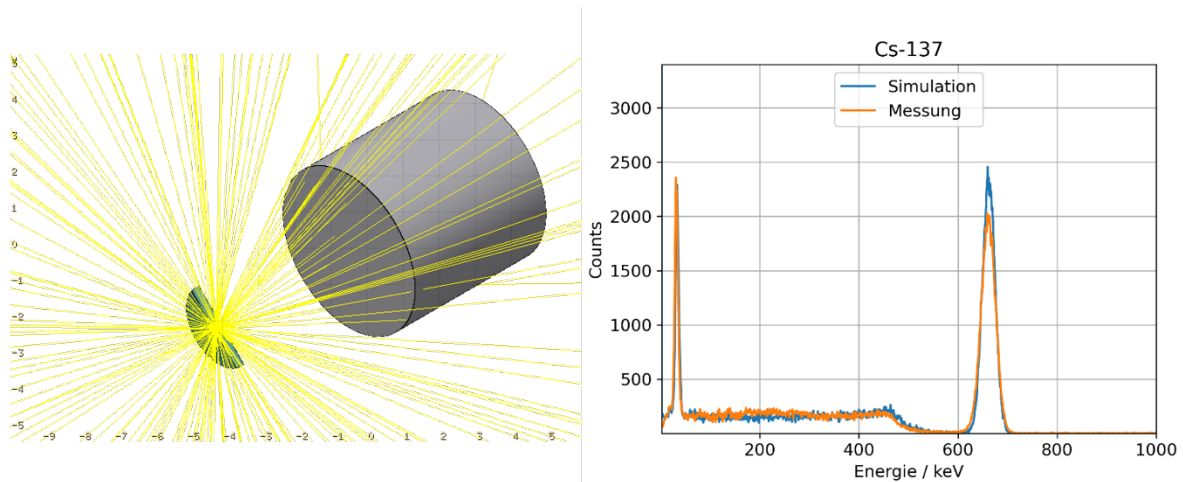


Abbildung 7: links – Anordnung von radioaktiver Quelle und CeBr₃-Detektor in der FLUKA-Simulation. Rechts – Simuliertes und tatsächlich gemessenes Impulshöhenspektrum von ¹³⁷Cs.

Zu AP 3.7

Die Auswahl geeigneter Messmethoden zur Feststellung der Ortsposition der Gamma-Kamera im jeweiligen Anwendungsfall/Raum im Feldeinsatz ist zwischen den Projektpartnern (HSZG, HELMA, VKTA) noch nicht abschließend erfolgt. Zu den kostenintensiven 3D-Laserscanner-Systemen werden Alternativen geprüft. Für die Bestimmung der Lage der Gamma-Kamera zur Quelle bei Experimenten im Strahlenlabor (HSZG) werden zunächst einfache Messmethoden (Laser-Abstandsmessung, Laser-Pointer, Lineale, Winkelmesser) verwendet.

Zu AP 3.8

Nach Bereitstellung des ersten Prototyps einer Gamma-Kamera mit der Spezifikation „RSL7“ inklusive einer Auswertesoftware durch den Projektpartner HELMA wurde im Labor Strahlentechnik der HSZG mit Inbetriebnahme-Experimenten (siehe auch AP 4.2 und AP 4.3) begonnen.



Abbildung 8: Rückansicht des RSL7, ein CeBr₃-Detektor befindet sich im Zentrum, sechs EJ200-Szintillationsdetektoren sind jeweils 60° versetzt, kreisförmig um den CeBr₃-Detektor angeordnet.

Zu AP 4.2

Die Erstellung der Inbetriebnahme-Versuchsmatrizen erfolgt in Abstimmung mit den Projektpartnern (VKTA, HELLMMA) und wird je nach den Ergebnissen angepasst. Im Vordergrund stehen:

- Kalibrierungsuntersuchungen für die Einzelsensoren
- Einfache Konfigurationen (Abstände, Winkel) zwischen Punktquellen und RSL7
- Ansprechen verschiedener Detektorgruppen des Gerätes bei gleichen geometrischen Randbedingungen
- Variationen der Quell-Nuklide.

Zu AP 4.3

Im Berichtszeitraum wurde mit der Durchführung und Auswertung von Inbetriebnahme-Versuchsreihen mit der Gamma-Kamera „RSL7“ begonnen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Zu AP 2.4

Weitere Simulationen werden für die DG 6, 6a, 6b, 8 und 9 durchgeführt. Als Referenz wird ebenfalls die DG 1 weiterhin betrachtet, da diese der Gamma-Kamera „RSL7“ entspricht, die nun für die Inbetriebnahme-Experimente zur Verfügung steht.

Zu AP 2.5

Im kommenden Berichtszeitraum wird anhand der FLUKA-Simulationen eine abschließende Bewertung getroffen, welche Detektorgruppe als Gamma-Kamera die höchste Nachweisempfindlichkeit hat. Das Hauptkriterium dafür wird die detektierte Anzahl von Koinzidenzereignissen bei gleicher Quellenaktivität und Messgeometrie sein.

Zu AP 3.7

Die Auswahl geeigneter Messmethoden für die Geometrieerfassung der Lage des Messsystems wird fortgeführt.

Zu AP 3.8

Es erfolgt eine Systemintegration, der vom Projektpartner FAU neu entwickelten Mess- und Auswertesoftware für den RSL7.

Zu AP 4.2

Die Versuchsmatrizen werden je nach Ergebnissen der Experimente zur Inbetriebnahme des RSL7 sukzessive angepasst.

Zu AP 4.3

Die Laborexperimente mit RSL7 werden unter Berücksichtigung der Randbedingungen nach AP 4.2 fortgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Petrak, S.; Kaden, T.; Jansen, S.; Kuger, L.:

„Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie (QGRIS) – Juni 2021 bis Mai 2024“, FORKA Statusseminar, Berlin, 25. Mai 2022

Berichtszeitraum: 01.01.2022 – 30.06.2022	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

- 1.1 Entwicklung Anforderungs- und Messkonzept (6/2021-11/2021)
- 1.5 Planung AP 4 und AP 5 (8/2021-11/2021)

AP 2 Simulation, Modellierung

- 2.3 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

Für die HSZG wurden verschiedene Messgeräte und radioaktive Quellen für Validierungsmessungen bereitgestellt. Die Validierung der Einzeldetektoren durch HSZG zeigt, dass auch im niederenergetischen Bereich des Spektrums Messungen möglich sein sollten. Dies würde auch die Messung von Am-241 ermöglichen. Bisher sind mit dem Prototyp lediglich Messungen an Cs-137+ und Co-60 möglich, da die weiteren Nuklide noch nicht in die Software implementiert sind. Für die Festlegung der Nuklidvektoren wäre es daher sinnvoll, weitere Messungen mit Mehrlinienstrahlern durchzuführen, um die Effektivität bei der Nuklidtrennung im Spektrum zu bewerten.

Für das weitere Vorgehen zur Definition der Nuklidvektoren sind die relevanten Nuklide definiert. Dazu zählen Cs-137+, Co-60, Eu-152, Am-241, Ba-133.

Weiterhin ist noch offen, wie stark NORM Nuklide mit in die Betrachtung aufgenommen werden müssen. Zu den NORM Nukliden zählen U-238, U-235, Th-232 und K-40.

Da NORM Nuklide in Beton und Bodenstoffen quasi ubiquitär vorhanden sind, tragen diese Nuklide zur Hintergrundstrahlung bei. Eine Erhöhung der Hintergrundstrahlung könnte bei Anwendung des Verfahrens zur Freigabe zu deutlich erhöhten Nachweisgrenzen führen. Dies wiederum würde zu Problemen zur Einhaltung der Freigabewerte der StrlSchV führen.

4. Geplante Weiterarbeit

laufende Arbeiten zu AP 2.3 Festlegung Nuklidvektoren

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9407A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Postfach 200 733, 80007 München Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Standort Dresden-Klotzsche, Maria-Reiche-Str. 2, 01109 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit. Teilprojekt A: Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Konditionierungsverfahren mit Nuklidseparation zur Volumenreduktion	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.12.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.219.438,39 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Chem. H.–J. Friedrich	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hans-juergen.friedrich@ikts.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

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

AP1: Die Aktivitäten zu AP 1 erfolgten gemäß Bearbeitungsfortschritt. Am 15.07.2022 wurde das 6. Verbundmeeting durchgeführt.

AP2: Die Arbeiten zu AP 2 sind abgeschlossen.

AP3: Die Untersuchungen zur elektrochemischen Dekontamination von Reaktorgraphit aus dem Segment 3 der thermischen Säule des RFR wurden fortgesetzt. An Teilchargen aus den Versuchen zur elektrochemischen Desintegration des Reaktorgraphits sowie zu Vergleichszwecken an technischem Graphit wurden weitere Versuche zur elektrochemischen Vergasung durchgeführt. Technischer Graphit erwies sich dabei als deutlich reaktionsträger als Graphit aus der thermischen Säule des RFR. Bei ersterem gelingt eine elektrochemische Oxidation in nennenswertem Umfang erst mit Zugabe von Redoxmediatoren. Graphit aus der thermischen Säule konnte hingegen elektrochemisch relativ rasch und fast vollständig in wasserlösliche Verbindungen überführt werden. Die Charakterisierung der Verbindungen ist im Gange. Im nächsten Schritt sollen diese Verbindungen weiter oxidiert werden, um das gesamte C-14-Inventar freizusetzen und dieses schließlich in Form von Carbonaten zu fixieren.

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

AP5: Die Untersuchungen zur Isotopenan-/abreicherung von C-14 mittels Membrandiffusionsanlage wurden beendet. Die gemessenen Effekte sind klein und lassen keine technische Relevanz erwarten.

Die Arbeiten zur Trennung der C-Isotope mittels Thermodiffusion und Gaszentrifuge sind ebenfalls abgeschlossen.

An Methanol als Modellverbindung wurden weitere Untersuchungen zum Einfluss der Reaktionsbedingungen auf die Freisetzungskinetik von C-14 durchgeführt. Dabei konnten vergleichsweise hohe Trennfaktoren beobachtet werden. Es ist zu vermuten, dass bzgl. reaktionskinetischer Parameter noch erhebliches Optimierungspotential besteht.

Die Untersuchungen zur Nutzung biochemischer Reaktionskaskaden zur Verschiebung der C-Isotopenverhältnisse wurden begonnen, ein entsprechendes Reaktionssystem ausgelegt und Analysenverfahren für die benötigte biochemische Analytik angepasst bzw. erprobt.

AP6: Die Umsetzung und Fixierung des freigesetzten CO₂ gelingt sowohl bei der direkten Oxidation des Graphits als auch bei der Oxidation niedermolekularer C-Verbindungen zur C-14-Anreicherung sehr gut. Die Konditionierung der erhaltenen Lösungen zu Feststoffen ist Gegenstand laufender Untersuchungen.

AP7: Zu diesem AP wurden im Berichtszeitraum keine Arbeiten durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Das nächste Verbundmeeting ist für das IV.Quartal 2022 geplant.

AP2: Die Bearbeitung ist abgeschlossen.

AP3: Die Untersuchungen zur vollständigen elektrochemischen Vergasung von Reaktorgraphit werden mit radioaktivem Reaktorgraphit fortgesetzt, speziell um erste Informationen über die zeitliche Dynamik der C-14-Freisetzung zu erhalten. Die Charakterisierung der Intermediate der elektrochemischen Graphitoxidation wird ebenfalls fortgesetzt.

AP4: Geplant sind Abstimmungen mit dem Verbundpartner zum Schlussbericht und zu möglichen Folgeaktivitäten.

AP5: Die Untersuchungen zur Isotopenanreicherung, speziell zu reaktionskinetischen Aspekten werden fortgesetzt. Die Untersuchungen zur biochemischen Verschiebung des C-Isotopenverhältnisses werden weiter vorbereitet und durchgeführt.

AP6: Die Arbeiten zur Konditionierung der Rückstände werden fortgesetzt.

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 sollte – soweit im konkreten Fall möglich - zurückgegriffen werden. Die Ergebnisse sind auch für das neu begonnene Projekt C-14-Recy von Interesse.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Die bisherigen Ergebnisse wurden im Zuge der KONTEC 2021 im August 2021 in einem Plenarvortrag vorgestellt. Auf die Proceedings wird verwiesen. Eine Vorstellung erfolgte weiterhin auf dem BMBF-Statusseminar zum Forschungsprogramm FORKA am 25.05.2022.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9407B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Bergakademie Freiberg	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt GraKon – Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit Teilprojekt: Entwicklung und Erprobung von Verfahrensansätzen zur Vergasung von Reaktorgraphit für die optimale Abtrennung radioaktiver Kontaminationen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 31.12.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 612.103,37 €
Projektleiter/-in: Prof. Bernd Meyer / Prof. Martin Gräbner	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Bernd.Meyer@iec.tu-freiberg.de Martin.Graebner@iec.tu-freiberg.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

Vor diesem Hintergrund besteht die Zielstellung des Vorhabens darin, eine neue Prozesskette modernster Dekontaminationsverfahren für die endlagergerechte Behandlung von 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 in die Gasphase, 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 auf AP 340 (Entwicklung der Prozesskette für die Vergasung) sowie auf AP 600 (Bilanzierung für die Gesamtprozesskette).

AP 320 Untersuchung des Konversionsverhaltens

- Der Schwerpunkt der labortechnischen Untersuchungen lag im Berichtszeitraum auf vergleichenden Untersuchungen (Vergleich zum Reaktorgraphit) mit synthetischem Graphit zur Konversion mit O₂ bei Partialdruckvariation und H₂.
- Die Bestimmung der Aktivierungsenergie und des präexponentiellen Faktors für die Oxidation des synthetischen Graphits erfolgte entsprechend Arrhenius-Ansatz. Im Unterschied zu den Untersuchungen mit dem Reaktorgraphit konnte für die Oxidation des synthetischen Graphits kein porediffusionskontrollierter Bereich nachgewiesen werden. Der chemisch kontrollierte Bereich geht bei ca. 900 °C (bei O₂-Partialdrücken von 0,2 und 0,5 bar) direkt in den filmdiffusionskontrollierten Bereich über. D. h. die geringe innere Oberfläche spielt auch bei der Oxidation des synthetischen Graphits analog zur Konversion mit CO₂ keine Rolle.
- Die Aktivierungsenergie für die Oxidation des synthetischen Graphits (bei einem O₂-Partialdruck von 0,2 bar) beträgt im chemisch kontrollierten Bereich bei einem Umsatz von 30 Ma.-% 185 kJ/mol (vs. 288 kJ/mol bei Reaktorgraphit). Bei höheren O₂-Partialdrücken von 0,5 und 0,8 bar erhöht sich die Aktivierungsenergie geringfügig auf 189 bzw. 195 kJ/mol (vs. 287,9 und 288,4 kJ/mol bei Reaktorgraphit). Die Veränderungen der Aktivierungsenergie fallen bei 50 und 70 Ma.-% Umsatz gering aus. Für Reaktorgraphit wurde bei einer Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks von 0,2 bar auf 0,5 bar ein Anstieg des Häufigkeitsfaktors im chemisch kontrollierten Bereich von $0,75 \times 10^{13}$ auf $2,0 \times 10^{13}$ 1/s bei einem Umsatz von 30 Ma.-% nachgewiesen. Bei einer weiteren Erhöhung des Partialdrucks auf 0,8 bar wurde weder eine signifikante Änderung des Häufigkeitsfaktors noch der Reaktionsgeschwindigkeit beobachtet. Dem gegenüber ergibt sich bei einer Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks von 0,2 bar auf 0,5 und 0,8 bar bei gleichem Umsatz ein Anstieg des Häufigkeitsfaktors von $3,4 \times 10^6$ auf $9,1 \times 10^6$ und $1,8 \times 10^7$ 1/s. Dieser Effekt kann durch die unterschiedliche Sättigung des Reaktionssystems mit Sauerstoff im Verhältnis zur Anzahl aktiver Zentren bei Reaktorgraphit und synthetischem Graphit erklärt werden. Bei einem Partialdruck von 0,8 bar übersteigt die Anzahl der Sauerstoffmoleküle die Zahl der aktiven Zentren von Reaktorgraphit, was bei dem synthetischen Graphit nicht der Fall ist. Analog zur Konversion mit CO₂ belegen die aus den kinetischen Parametern ermittelten Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten die höhere Reaktivität des synthetischen Graphits gegenüber Reaktorgraphit.
- Für die Reaktionsordnung der Oxidation von synthetischem Graphit wurde für den chemisch kontrollierten Bereich ein Wert von $0,55 \pm 0,11$ (vs. $0,9 \pm 0,01$ bei Reaktorgraphit) bestimmt.
- Ausgehend von den ermittelten optimalen kinetischen Bedingungen für die hydrierende Vergasung von Reaktorgraphit, wurde die Umsetzung von synthetischem Graphit mit Wasserstoff bei 20 bar im Temperaturbereich von 900 bis 1100 °C in Temperaturschritten von 50 °C untersucht und die kinetischen Parameter entsprechend Potenzansatz bestimmt. Die Aktivierungsenergie und der präexponentielle Faktor betragen für den synthetischen Graphit im chemisch kontrollierten Bereich bei einem Umsatz von 30 Ma.-% 117 kJ/mol und 0,69 1/s

gegenüber 266 kJ/mol und $3,9 \times 10^5$ 1/s für Reaktorgraphit. Damit wurde auch für die Konversion mit Wasserstoff eine höhere Reaktivität des synthetischen Graphits gegenüber Reaktorgraphit nachgewiesen.

AP 340 und AP 600:

- Die in den letzten Zwischenberichten vorgestellten Vergasungs- bzw. Oxidationskonzepte wurden thermodynamisch berechnet und die Stoffströme ermittelt. Die Berechnungen wurden auf einen Durchsatz von 11,5 kg/h Reaktorgraphit bezogen.
- Die 1. Variante beinhaltet die Konversion mit O₂, wobei als Zielgaskomponente für die nachfolgende Isotopentrennung CO definiert wurde. Aus der Berechnung folgt, dass im Produktgasstrom ein maximaler CO- Gehalt von 94,3 Vol.-% erreicht werden kann (Rest CO₂, H₂ und N₂). Der Gesamtrohgasvolumenstrom beträgt 27,49 kg/h. Im Konzept vorgesehen ist die Rückführung eines Teils des Produktgasstroms als Temperaturmoderator. Für eine adiabate Konversionstemperatur von 1037 °C muss ein Anteil von 0,8 zurückgeführt werden.
- Die 2. Variante betrifft ebenfalls die Umsetzung des Reaktorgraphits mit O₂ mit Produktgasrückführung, jedoch ist hier die Zielgaskomponente CO₂. Die thermodynamische Berechnung ergab einen maximal möglichen CO₂- Gehalt von 94,1 Vol.-% bei einem Gesamtrohgasvolumenstrom von 41,49 kg/h (Rest CO, H₂ und N₂). Bei einem Anteil an rückgeführten Produktgasstrom von 0,8 ergibt sich eine adiabate Konversionstemperatur von 1698 °C.
- In Variante 3 ist eine hydrierende Vergasung zum Zielprodukt CH₄ konzipiert. Die maximale Konzentration von CH₄ im Produktgasstrom beträgt 31,7 Vol.-%. Der Rest ist (thermodynamisch bedingt) nicht umgesetzter Wasserstoff. Der Rohgasvolumenstrom wurde zu 19,49 kg/h ermittelt. Die sich ergebende adiabate Konversionstemperatur beträgt in diesem Fall 801 °C.

4. Geplante Weiterarbeit

Die geplanten Weiterarbeiten betreffen die Weiterführung des AP 330 und des AP 340 sowie des AP 600. Die nächsten Schritte umfassen im Detail:

- Weiterentwicklung des Konversionskonzeptes auf der Basis der experimentell ermittelten Prozessparameter und unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Projektpartners zur Isotopenabtrennung,
- Weiterentwicklung thermodynamischer Modelle für den Konversionsprozess auf der Basis der Software ASPEN Plus,
- Einpflegen der Verfahrenskette für die Reaktorgraphitvergasung in das Gesamtkonzept.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es sind keine Änderungen gegenüber der Antragsstellung abzusehen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Es wurde ein Fachartikel in der Zeitschrift Journal of Nuclear Materials eingereicht.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 fanden keine Arbeiten zu diesem Arbeitspaket statt.

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.

AP 7: Messung von Reaktorgraphitproben aus realen kerntechnischen Anlagen

Im Berichtszeitraum fanden keine Arbeiten zu diesem Arbeitspaket statt.

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 konnte ein direkter Vergleich zwischen Feststoff- und Gasverdünnung durchgeführt werden und somit die Funktionalität der Verdünnung gezeigt werden.

AP 9: Aufarbeitung und Veröffentlichung der Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden die vorläufigen Ergebnisse des Vorhabens im Rahmen des FORKA Statusseminars vorgestellt, das am 24. und 25. Mai 2022 in Berlin stattgefunden hat. Hierfür wurde eine Präsentation vorbereitet.

AP 10: Verbundkoordination und Projektmanagement

Im Berichtszeitraum fanden weiterhin 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 Arbeitsprogramm Punkten)

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 weiterhin auf der Bewertung der vom Verbundpartner Uni Köln erzeugten Messwerte liegen. Auf dieser Basis können 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, werden im kommenden Halbjahr zusammengefasst und der Abschlussbericht erstellt.

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.

Ein weiterer Bezug besteht zum Forschungsvorhaben mit dem Titel „Entwicklung eines AMS-Messsystems zur radiologischen Charakterisierung von aktivierten Reaktorkomponenten in der Stilllegung hinsichtlich der Freigabefähigkeit“ (BMU-Vorhaben 3621E03520). In diesem Forschungsvorhaben wird der Einsatz der AMS-Messtechnik für die Freigabe unter Nutzung von C-14 als Leitnuklid für die Charakterisierung verschiedener Materialien untersucht.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum wurden die vorläufigen Ergebnisse des Vorhabens im Rahmen des FORKA Statusseminars vorgestellt, das am 24. und 25. Mai 2022 in Berlin stattgefunden hat.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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.

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>		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)

Die Messzeiten aus AP5 und AP7, in denen abschließend die Feststoff- und die Gasverdünnung verglichen werden, wurden im Berichtszeitraum begonnen, konnten aber u.a. wegen Defekten am Elemental Analyzer noch nicht vollständig abgeschlossen werden; der abschließende direkte Vergleich der feststoffverdünnten und gasverdünnten Proben steht noch aus. Aus den bisher gemessenen Daten lassen sich aber bereits Schlussfolgerungen ableiten, wie in der Praxis ein Messregime mit einer hohen Anzahl von Proben mit erhöhten C-14-Gehalten verfolgt werden muss, um z.B. Reservoireffekte im Gassystem zu vermeiden bzw. zu kontrollieren. Die Ergebnisse sind auch relevant für die mögliche Fortentwicklung des AMS-Messsystems bzw. ggf. für die Entwicklung eines eigenständigen dedizierten Messsystems. Die bei der AMS-15-Konferenz präsentierten Ergebnisse wurden für die Publikation in Nuclear Instruments and Methods eingereicht und befinden sich im reviweprozess (AP9, s. 6).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die begonnenen Arbeiten werden wie fortgesetzt wie nach der angepassten Planung in Folge der zuletzt beantragten kostenneutralen Verlängerung beantragt und genehmigt (s. 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 wurde untersucht, inwieweit sich AMS zur Charakterisierung von Reaktorbeton im Hinblick auf schwer messbare Radionuklide wie z.B. ^{41}Ca eignet. Im derzeit laufenden Nachfolgevorhaben 3621E03520 „Entwicklung eines AMS-Messsystems für radiologische Charakterisierung und Freigabemessungen von aktivierten Reaktorkomponenten in der Stilllegung“ wird die Korrelation von C-14 und Ca-41-Gehalten in Reaktorbeton untersucht.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Die beiden Beiträge zur AMS-15 Konferenz (November 2021) wurden zu einem gemeinsamen Fachartikel zusammengefasst und werden anschließend peer reviewed in Nuclear Instruments and Methods B veröffentlicht. Der Artikel befindet sich seit Ende Mai im Begutachtungsverfahren.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9413A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Postfach 200 733, 80007 München Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Standort Dresden-Klotzsche, Maria-Reiche-Str. 2, 01109 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt „Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen“. Teilprojekt A: Verfahrensentwicklung zur Dekontamination und Konditionierung der Prozessmedien einschließlich Gewinnung/Herstellung und Charakterisierung von Betonproben“	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 31.10.2022	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 sind abgeschlossen.

AP3: Mit den assoziierten Partnern preussenelektra GmbH und VKTA wurden die Spezifikationen für zu übergebende radioaktiv kontaminierte Betonproben für Zerkleinerungs- und Dekontaminationsversuche abgestimmt. Material von preussenelektra wurde geliefert und steht für die Versuche zur Verfügung, Material von VKTA wird demnächst erwartet. Weiterhin wurden 24 Stck. radioaktiv markierte Betonproben für Kontrollversuche frisch hergestellt.

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 entsprechendes Probenmaterial nach Zerkleinerung übergeben, das durch Zugabe von inaktivem Cs, Co, Eu und Sr markiert war. Die Auswertungen umfassten die Bilanzierung nach Siebfraktionen, die Verteilung auf feste und flüssige Phasen sowie den mit HCl mobilisierbaren Bindemittelrest an der Kiessandfraktion.

AP5: In den weiteren inaktiven Vorversuchen wurde festgestellt, dass durch die nasse Prozessierung von inaktiv markierten Betonproben Eu und Cs sowie auch Co kaum mobilisiert werden. Hingegen Sr vermutlich in erheblichem Maße. Hierbei ist zu beachten, dass es bei Einwirkung von Wasser auf Betonstein auch ohne vorherige Sr-Beimischung zum Anmachwasser zu erheblicher Sr-Freisetzung aus den Zementsteinphasen kommt. Formal wurden Werte zwischen 60 und 70% für die Sr-Freisetzung bezogen auf die als Tracer zugegebene Sr-Masse ermittelt.

Untersuchungen am Prozesswasser aus der elektrodynamischen Zerkleinerung (inaktiv) an einer Reihe von Proben zeigten, dass eine Entsalzung auf das für eine Wasserwiederverwendung erforderliche Niveau sehr rasch (Minuten) erreicht werden kann und die abgetrennten Ionen in den erzeugten Konzentraten sehr weit angereichert werden können.

AP6: Eine Bearbeitung war im Berichtszeitraum noch nicht möglich.

AP7: Eine Bearbeitung war im Berichtszeitraum nicht vorgesehen

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Das nächste Verbundmeeting ist für das III. Quartal 2022 geplant.

AP2: Die Untersuchungen sind abgeschlossen.

AP3: Die Versuche mit radioaktiv getracerten Betonproben zur Verifikation werden fortgesetzt und Versuche mit realen radioaktiv kontaminierten Betonproben durchgeführt.

AP4: Die Umsetzung einer Versuchsanlage zur elektrohydraulischen Fragmentierung in das Radionuklidlabor ist für September 2022 geplant. Es finden hierzu regelmäßige Abstimmungen der Partner statt.

AP5: Die Untersuchungen werden mit radioaktivem Prozesswasser fortgesetzt.

AP6: Die Bearbeitung wird im III. Quartal 2022 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 Statusseminars im Mai 2022.

6. Berichte und Veröffentlichungen

2021 konnten bisherige Ergebnisse des Vorhabens im Rahmen der KONTEC-direkt-Reihe präsentiert werden.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 31.10.2022	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 Versuchsstandes für die Nutzung beim Projektpartner Fraunhofer IKTS für den Aufschluss von kontaminierten Betonproben weitergeführt. Nach Lieferung des Containers als Lärm- und EMV-Kapselung konnte der Aufbau weitestgehend fertiggestellt werden. Nach Rücksprache mit dem Projektpartner wurde eine zusätzliche Verkleidung als Spritzschutz konstruiert und umgesetzt um eine Kontamination des Containers während des Betriebes durch austretendes Prozesswasser (Spritzwasser) zu verhindern. Im weiteren Projektverlauf wird der Teststand in Betrieb genommen, temporär am Fraunhofer IKTS installiert und für die Behandlung von radioaktiven Betonmuster verwendet.

AP3: Die Arbeiten zur systematischen Untersuchung des Betonaufschlusses wurden fortgesetzt. Der Zerlegeprozess wurde für verschiedene Betonproben (Bohrkerne und vom Fraunhofer IKTS hergestellte Muster) unter Nutzung des optimierten Versuchsreaktors weitergeführt. Dabei wurden verschiedene Prozessgrößen variiert um die Auswirkungen auf die Restzementgehalte der Kiesfraktionen genauer zu untersuchen. Aufgrund von Verzögerungen im Projekt konnten die Analysen der Versuchsreihen durch den Projektpartner Fraunhofer IKTS noch nicht abgeschlossen werden, so dass eine systematische Auswertung bis jetzt nicht möglich war.

Parallel wurde an einer einfachen Methodik zur Qualifizierung der Ergebnisse gearbeitet. Diese muss allerdings im Vergleich mit den Analysedaten vom Projektpartner IKTS noch validiert werden um sie für die Bewertung von Einzelversuchen nutzen zu können.

AP6: Eine Bearbeitung konnte im Berichtszeitraum noch nicht begonnen werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

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

AP3: Die Arbeiten zur Entwicklung des Aufschlussprozesses für verschiedene Betonproben sollen abgeschlossen werden. Ziel dabei ist es die maximal erzielbare Reinheit zu ermitteln und das Setup anschließend auf kontaminiertes Material zu übertragen.

AP6: Geplant ist die Durchführung der Versuchsreihen mit kontaminiertem Beton am Fraunhofer IKTS.

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: 01.01.2022 bis 31.06.2022	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 2: Probenherstellung mit der WASS-Anlage

Es wurde mit der Planung der WASS-Schnitte zur Probenherstellung begonnen. Hierfür wurde ein Angebot der Firma ANT eingeholt, die benötigte Probenmaterialmenge bestimmt und das Schnittmaterial definiert. Die Durchführung der Schnitte dauert voraussichtlich eine Woche.

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Die entwickelte Anlage des Vorgängerprojekts wurde für den Batch-Betrieb konstruiert. Dieser Betrieb hat zur Folge, dass während der Versuchsdurchführung die Schlauchverbindungen umsteckt werden müssen. Im Betrieb mit radioaktivem Material ist diese Handhabung nicht empfehlenswert, weshalb die Anlage für den kontinuierlichen Betrieb umgebaut wurde.

Daher wurde vom KIT-TMB ein kontinuierliches Siebssystem, welches mit Unterdruck betrieben wird, entwickelt. Hierbei wird ein Sieb mit einer großen Fläche, die leicht geneigt ist, verwendet. Die Suspension aus Probenmaterial und Wasser gelangt mittels Unterdruck auf das Sieb. Der Einlauf befindet sich auf der angehobenen Seite des Siebs. Das Probenmaterial wird durch Vibration entlang des Siebs nach unten geführt. Das Feingut wird abgetrennt. Das Grobgut verbleibt auf dem Sieb und wird an der unteren Seite des Siebs abgepumpt.

Um die Ergebnisse des neuentwickelten Sieb KIT-TMB zu validieren, wurde eine ideale Siebung mit einem Siebturm durchgeführt und mit diesen verglichen. Die ersten Versuch dieses KIT-TMB Siebs wiesen einen relativ hohen Siebfehler auf.

Neben der Modifikation des KIT-TMB-Siebs wurde vom KIT-INE in Zusammenarbeit mit dem KIT-TMB ein weiteres Sieb (KIT-INE Sieb) mit verändertem Verfahren entwickelt. Dieses KIT-INE Sieb muss nicht mit Unterdruck betrieben werden. Das Sieb befindet sich in horizontaler Lage. Das Probenmaterial gelangt mittig auf das Sieb. Durch Vibration wird das Feingut abgetrennt und aufgefangen. Das Grobgut vibriert über den Rand des Siebes und wird abtransportiert.

Des Weiteren wurden Trennexperimente zum Vergleich der Magnetfilter auf den angepassten Aufbau durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu den Arbeitspaketen)

AP 2: Probenherstellung mit der WASS-Anlage

In der kommenden Phase steht die weitere Planung und Durchführung der WASS-Schnitte bei der Firma ANT in Lübeck an. Dies beinhaltet die Planung des Aufbaus zum Auffangen und das Abfüllen der Proben. Hierfür wird in Zusammenarbeit mit ANT ein System und die genaue Durchführung ausgearbeitet. Des Weiteren wird der Transport der Materialien und der Personalbedarf festgelegt.

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Die Versuche zum Vergleich der Magnetfilter sollen zur Bestätigung der Ergebnis wiederholt werden. Gemeinsam mit dem KIT-INE sollen die Ergebnisse der chemischen und elektronenmikroskopischen Analysen interpretiert werden.

Die Inbetriebnahme beider Siebe soll abgeschlossen werden. Trennexperimente mit beiden Sieben sind durchzuführen, die dann miteinander verglichen werden sollen. Auf Basis der Ergebnisse der Trennexperimente steht die Entscheidung für einer der beiden Siebssysteme an. Daraufhin folgt eine Aufstellung eines detaillierten Versuchsplans für das gewählte Sieb.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

„Nasssiebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen“, Vortrag, Statusseminar FORKA (Berlin, 2022, Mai 24-25)

„Treatment of secondary waste produced from the Waterjet Abrasive Suspension Cutting using separation techniques and to recycle the abrasive material (NaMaSK)“, Poster, Helmholtz Energy Young Scientists Workshop 2022 (Frankfurt 2022, Mai 30-31)

„TREATMENT OF RADIOACTIVE SECONDARY WASTE FROM WATERJET ABRASIVE SUSPENSION CUTTING USING SEPARATION TECHNIQUES“, Paper und Vortrag, Kerntechnik (Leipzig 2022, Juni 21-22).

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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. Die einzelnen Prozessschritte, Siebung, Filtration und Magnetseparation sollen im Rahmen des Projektes verbessert und bewertet werden. Dann werden die Prozessschritte gemeinsam zur Abtrennung von Korngemischen 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 chemischen Analysen, der Oberflächenanalytik und der Korrosionsinhibition beim KIT-INE liegt. Zudem sind Versuche mit radioaktiven Proben im Kontrollbereich des KIT-INE vorgesehen.

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 1: Untersuchungen zur Verwendung von Korrosionsinhibitoren bei ferritischen Stählen

Es wurde eine umfassende Literaturrecherche über mögliche Korrosionsinhibitoren durchgeführt, die für ferritische Stähle unter Bestrahlung geeignet sind. Aus den Analysen ging hervor, dass filmbildende organische Inhibitoren, die eine aromatische funktionelle Gruppe enthalten, eine hohe Inhibierungseffizienz aufweisen. Mit N-, O-, S- oder P-Heteroatomen wird die Inhibierungseffizienz weiter verbessert. Die Inhibitoren adsorbieren an der Metalloberfläche aufgrund von drei Faktoren, (a) Elektrostatische Anziehung zwischen geladenen Molekülen und der geladenen Metalloberfläche, (b) Wechselwirkung von nicht geteilten Elektronen (Einzelpaaren) im Inhibitormolekül mit teilweise gefüllten d-Orbitalen im Metall, (c) Wechselwirkung der π -Elektronen des Benzolrings mit dem Metall.

Bei der Auswahl und Beschaffung der organischen Verbindungen für die erste Studie wurden die Eignung und die nachgewiesene Effizienz für die Korrosionshemmung von Baustahl, der Grad der Toxizität und die Umweltverträglichkeit sowie die Bestrahlungsstabilität auf der Grundlage einer Literaturrecherche in Betracht gezogen. L-Tryptophan, 5-Methylbenzotriazol, 2-Aminobenzimidazol und 3,4-Dihydroxybenzoesäure wurden für die Studie ausgewählt. Zusätzlich wurden verschiedene kommerzielle Inhibitoren für Vergleichsuntersuchungen beschafft.

Immersionsversuche wurden mit den von der INE-Werkstatt vorbereiteten Prüflingen aus zertifiziertem Reaktordruckbehälterstahl (1.6310) durchgeführt, mit und ohne Korrosionsinhibitoren sowie mit verschiedenen Konzentrationen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die meisten der ausgewählten Inhibitoren unter den gewählten Bedingungen den Stahl nicht länger als 48 Stunden schützen. Ein kommerzieller Inhibitor, zeigte im Vergleich die beste Korrosionshemmung bei niedrigen Konzentrationen und über 7 Tage hinaus. Um die Inhibitorwirkung quantitativ zu untersuchen, wurden eine elektrochemische Zelle mit Potentiostat für elektrochemische Analysen angeschafft.

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Zunächst wurden anhand der chemischen Analyse (ICP-OES) von Filtraten und Filtrerrückständen die Ergebnisse der Trennexperimente mit beiden zur Verfügung stehenden Magnetfiltersystemen verglichen sowie die Ergebnisse interpretiert. Dabei wurde das bestehende chemische Analyseverfahren überprüft und die Probenmenge angepasst. Proben aus Siebversuchen mit einem bei KIT-TMB entwickelten Siebssystem wurden ebenfalls chemisch analysiert. Ein weiteres Siebssystem wurde mit einem alternativen Filtrationsverfahren entworfen, um es mit dem TMB Siebverfahren zu vergleichen und die Auslegung zu optimieren. Mit Hilfe der KIT-TMB Werkstatt wurden das Siebssystem hergestellt, Vorversuche durchgeführt und notwendige Modifikationen umgesetzt.

Zugleich erfolgte die Einarbeitung in das Betriebssystem Autodesk Inventor (CAD-Programm), sodass technische Zeichnungen und 3D-Modelle des Versuchsaufbaus erstellt werden können.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu den Arbeitspaketen)

AP 1: Untersuchungen zur Verwendung von Korrosionsinhibitoren bei ferritischen Stählen

Da die genaue Zusammensetzung des gut wirkenden, kommerziellen Inhibitors unbekannt ist, sind Analysen mittels XPS und NMR zur Charakterisierung geplant. Eine neue Charge von Inhibitoren, hauptsächlich Amine und Benzoesäuren, soll getestet werden. Geplant ist es, die potentielle synergistische Wirkung zwischen ausgewählten Aminen und Benzoesäure zu

untersuchen. Die spezifische Oberfläche der aus dem Korngemisch abgetrennten Stahlkörner wird bestimmt, um die Dosierung des Inhibitors während des Gesamtprozesses des Schneidens und Abtrennens abzuschätzen.

Um die Effizienz der ausgewählten Inhibitoren quantitativ zu bewerten, werden Gewichtsverlustexperimente, elektrochemische Analysen (EIS, OCP, PDP, CV) und Oberflächenanalysen (SEM, XPS usw.) an den Stahlproben durchgeführt. Zur Bestimmung der Strahlungsstabilität ausgewählter Inhibitoren sind Bestrahlungsexperimente z.B. unter Verwendung eines 3D Röntgenmikroskops und Messung der Dosis mittels TLDs geplant.

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

In der kommenden Phase werden anhand eines Versuchsplanes weitere Trennexperimente zum Vergleich der Einzelkomponenten der Filterstrecke sowie chemische Analysen des Probenmaterials (ICP-OES, Rasterelektronenmikroskop) durchgeführt. Gemeinsam mit dem KIT-TMB sollen die Ergebnisse interpretiert und gegebenenfalls die Einzelkomponenten weiter optimiert werden.

Auf Basis der Ergebnisse der Trennexperimente steht die Entscheidung für einer der beiden Siebssysteme sowie die Inbetriebnahme aller Einzelkomponenten an.

Mittels des Programmes Autodesk Inventor soll ein 3D-Modell des Versuchsaufbaus erstellt und die optimale Platzierung der Einzelkomponenten in dem Handschuhkasten ermittelt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

--

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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. 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.

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)

Zusätzlich zu den in der Regel 14-tägig stattfindenden Jour-Fixe hat das Öko-Institut am 1. Februar pandemiebedingt ein virtuelles Projekttreffen (2. Projekttreffen) mit allen Partnern durchgeführt. Das Treffen hat ersatzweise zur geplanten Veranstaltung bei der Electrocycling GmbH in Goslar stattgefunden. Der zeitliche und inhaltliche Rahmen für die virtuelle Ersatzveranstaltung wurde daher reduziert. Am 4./5. Mai wurde dann das 3. Projekttreffen in Goslar von der Electrocycling GmbH durchgeführt. Das Öko-Institut unterstützte dabei organisatorisch und nahm am Treffen teil. Für die Recherchearbeiten hat das Öko-Institut am 21. April den Kraftwerkstandort in Philippsburg begangen, dabei den Zutritt zu maschinen- und elektrotechnischen Anlagenteilen des KKP 2 erhalten. Diese Informationen fließen in die weiteren Recherchearbeiten ein. Im Rahmen des AP 1.1 hat das Öko-Institut bereits Werkstoffdaten zu kerntechnischen Komponenten in erheblicher Stückzahl verarbeitet und systematisch ausgewertet. Um Datenlücken zu schließen haben Mitarbeiter des Öko-Institut am 9. Juni gemeinsam mit Mitarbeitern der EnKK Daten aus dem zentralen Archiv am Kraftwerksstandort erhoben. Im Rahmen des AP 1.2 bearbeitet das Öko-Institut in Zusammenarbeit mit der EnKK die Zuordnung der interessanten Komponenten in Freigabepfade, nachdem sie den etablierten Reststoffbearbeitungsprozess durchlaufen haben (laufend). Insgesamt wurden Arbeiten zeitlich gestreckt, was eine Unterschreitung vom Kostenplan verursacht (s. Punkt 11).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Auswertung der Werkstoffdaten für die AP 1.1 und AP 1.2 wird weiterhin bis Ende des Jahres fortgesetzt. Dies entspricht einer Verlängerung der Zeitplanung um etwa 5 weitere Monate (s. Punkt 12). Dabei soll nunmehr ein stärkerer Fokus auf die Verteilung der verwendeten Metalle bei Herstellung der Komponenten nach ursprünglichen Anforderungen und Spezifikation geachtet werden. Weiterhin sind Interviews mit Fachabteilungen der EnKK sowie eine weitere Begehung des Maschinenhauses geplant. Dies wird jedoch auch in wechselseitiger Abhängigkeit zu den vorliegenden Ergebnissen der Partner in AP 2 erfolgen. Am 13.7. soll der (ursprünglich für April geplante) Meilensteinworkshop mit allen wichtigen Zwischenergebnissen unter Teilnahme des Projektträgers stattfinden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bislang keine.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9428B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Clausthal - Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik, ab 01.04.2022 Institut für Aufbereitung, Recycling und Kreislaufwirtschaftssysteme	
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 (TUC (gemeinsam mit Öl und ECG): Systematische Erfassung der Anlagenteile und Komponenten für weitere Untersuchungen)

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 (TUC: Koordination)

AP 2.1: Demontagestudien (TUC: Ermittlung der Zusammensetzung der Komponenten durch Demontagestudien und Entwicklung kompletter Demontageverfahren)

AP 2.2: Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung von Komponenten (TUC (gemeinsam mit ECG): umfassende Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung ausgewählter, wertstofflich interessanter Komponenten; TUC: chemische Analytik der Bestandteile)

AP 3: Ermittlung des intrinsischen Materialwerts (TUC: Unterstützung durch Erfahrung zur Verwertung von Materialgruppen und Ableitung von Recyclingpotenzialen von Technologiemetallen und Speziallegierungen)

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 (TUC: Koordination)

AP 4.1: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (TUC: Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der ermittelten Demontage-, Vorbehandlungs-, Recyclingverfahren der Komponenten, die

Technologiemetalle und Speziallegierungen enthalten, unter Berücksichtigung der Erlöse der Materialfraktionen)

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 (TUC gemeinsam mit allen Projektpartnern: Zusammentragen der Forschungsergebnisse, Erstellung eines Leitfadens für den optimalen Rückbau von KKW mit Bezug zu Technologiemetallen und Speziallegierungen)

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

Die Arbeiten an AP 2 wurden seit Beginn des Kalenderjahres 2022 verstärkt durchgeführt. Die ersten Bauteile wurden einer chemischen Analyse unterzogen. Bei den Bauteilen handelt es sich verstärkt um Platinen aus der Leittechnik. In Zusammenarbeit mit der Electrocyling GmbH wurden die einzelnen Platinen nach optischen Gesichtspunkten in die Kategorien I, II und III eingeteilt. Von den einzelnen Bauteilen wurde die Masse aufgenommen. Mittels einer ICP OES werden die Gehalte an Gold, Silber, Kupfer und Palladium bestimmt. In Zusammenarbeit mit der ENKK wird evaluiert welche Anzahl jeder Platine im Kraftwerk vorhanden ist. Mittels chemischer Analysen, den Lagerbeständen und den aufgenommenen Massen konnte eine erste Hochrechnung auf den Wertmetallgehalt durchgeführt werden. Dabei ergaben sich auf 26 kg Bauteile ein Gesamtgehalt von 7,2 g Gold, 5,6 g Silber, 1,4 g Palladium sowie 2,3 kg Kupfer. Die Bereits analysierten Platinen wurden von der Electrocyling GmbH auf Ihren tatsächlichen Materialwert anhand von Vergütungspreisen von Hüttenbetrieben betrachtet. Es wurde besonders bei Kategorie I Platinen ein hoher Materialwert mit einem Maximum von 57 €/kg festgestellt. Der bisher nachweisbare Gesamtwert beläuft sich auf 496 € wobei Klasse I Platinen etwa 90% des finanziellen Wertes ausmachen.

Es sind sechs weitere Gitterboxen mit Material eingetroffen welche zunächst in zwei Kategorien (Platinen und Bauteile zur Demontage) eingeteilt wurden. Aus der bestehenden Lieferung wurden 15 Platinen in die Massenbezogene Hochrechnung aufgenommen. Die Insgesamt nachweisbare Menge von Platinen beläuft sich zum aktuellen Stand auf 670 bei einer Gesamtmasse von 122 kg. Dabei machen besonders werthaltige Klasse I Platinen 7,5 % der Gesamtmasse aus. Weniger wertstoffhaltige Klasse III Platinen sind mit 11,5 % vertreten. Die übrigen 81% bestehen zum aktuellen Zeitpunkt aus Klasse II Platinen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die vorhandenen Platinen werden mittels der entwickelten Methodik analysiert und in die Hochrechnung aufgenommen. Es wird erwartet, dass die bisher ermittelten durchschnittlichen Gehalte an Wertmetallen bestätigt oder übertroffen werden. Die einzelnen Bauteile werden nach ihrer jeweiligen KKS-Nr. kategorisiert was eine spätere Anwendung auf andere Kraftwerke ermöglichen soll. Der Fokus der Bearbeitung von AP II und III wird zunächst auf den Platinen liegen. Eine Demontage der übrigen Bauteile wird nach Entwicklung einer zielführenden Methodik gemeinsam von der TUC und der Electrocyling GmbH durchgeführt. Nach einer Freimessung wird von der ENKK ein „Gießharzschalter“ mit einem Gewicht von etwa 100 kg zur Verfügung gestellt. Nach einer ersten optischen Einschätzung seitens der Electrocyling GmbH (während der Besichtigung des AKW) kann ein hoher Wertstoffgehalt erwartet werden. Aufgrund der robusten Bauweise ist eine Demontage

erforderlich, eine Möglichkeit der mechanischen Aufbereitung kann vorerst ausgeschlossen werden. Es wird versucht ein geeignetes Sortiersystem für E- und Leittechnik in Kernkraftwerken zu entwickeln. Die Analysen der einzelnen Bauteile werden an die Electroycling GmbH weitergeleitet, um die Wertstoffgehalte mit Vergütungspreisen von Hüttenbetrieben abzugleichen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bisher keine.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9428C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: EnBW Energie Baden-Württemberg AG	
Vorhabenbezeichnung: 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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2021 bis 30.04.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 252.582,85 €
Projektleiter/-in: Rolf Etges	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: r.etges@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 organisiert in diesem Arbeitspaket insgesamt die Recherche und Aufnahme der Datengrundlagen des Projektes. Dies geschieht durch eine Reihe von Vor-Ort-Workshops, Begehungen und Archivrecherchen, unterstützt durch das Öko-Institut und die TU Clausthal. 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 1. Halbjahr 2022 wurden Arbeiten zu den AP 1.1, AP 1.2 intensiviert und fokussiert durchgeführt. Durch EnBW organisatorisch vorbereitete und mit den Projektpartnern gemeinsam durchgeführte Recherchen und mehreren Vor-Ort-Terminen führten zu einer breiten Datenbasis von zu untersuchende Komponenten und Anlagenteilen. Mit Bezug zu den allgemein gültigen Kraftwerkkenzeichnungssystemen wurde zudem eine Systematik eingeführt, die sowohl eine systematische Auswertbarkeit und spätere Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf andere Anlagen sicherstellt. Unter Einbeziehung von acht Fach- und Teilbereichen der Unternehmensorganisation der EnBW wurden in einem kontinuierlichen Kreislauf aus Abstimmungsgesprächen mit den Projektpartnern, Unterlagenrecherchen der EnBW, Rückmeldungen zu den gewonnenen Erkenntnissen infolge systematischer Auswertungen und Datenbreitstellung und Datenübermittlung an alle Projektpartner ein intensiver Rechercheprozess durchgeführt. Die Quellen für Technologiemetalle konnten auf diesem Wege ein- und abgegrenzt werden.

Im Ergebnis dessen erfolgte durch EnBW eine umfangreiche und repräsentative Bereitstellung von Komponenten für Aufbereitungs- und Recyclingstudien zur Durchführung erster Arbeiten im AP2, für den Bereich elektro- und leittechnischer Komponenten. EnBW erstellte ein entsprechendes Portfolio an Komponenten und organisierte die Bereitstellung und Abgabe des Materials an die Projektpartner der TU Clausthal und der Firma Elektrorecycling zur Untersuchung. Ein wesentlicher und arbeitsintensiver Schwerpunkt war die Organisation und Durchführung der Prozesse zur radiologischen Freigabe des Materials.

Durch EnBW wurden im weiteren die Anforderungen an die Freigabeprozesse umfassend erläutert und dargestellt, um Quellen für Technologiemetalle auszuschließen, die aufgrund ihrer Verwendung keine radiologische Freigabe erhalten können und damit vom Recyclingprozess auszuschließen sind.

Im Projekttreffen in Goslar am 04.und 05.05.2022 in Goslar wurde erste Untersuchungsergebnisse vorgestellt und Vermutungen zu den Zielen des Vorhabens bezüglich spezifischer Potenziale bestätigt werden.

Die Ergebnisse wurden im 1. Meilensteinworkshop am 13.07.2022 in Darmstadt zusammengefasst und dem Projektträger vorgestellt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Bis Ende 2022 werden die Erhebungen für das Arbeitspaket 1 aufgrund der pandemiebedingt eingetretenen Verzögerungen weitergeführt, mit dem Ziel, die wesentlichen Arbeiten des AP 1 abzuschließen. Für den Fall weiterer pandemiebedingter Verzögerungen wird die terminliche Umsetzung angepasst.

Wichtige weitere Aufgabe ist die Auswertung der Ergebnisse der Untersuchungen bereitgestellter Komponenten. Diese sollen in bereits geplanten Terminen den Projektpartnern und allen beteiligten Personen der EnBW im Projekt als erster Informationsrückfluss erläutert werden. Hier besteht die Erwartung das daraus erste Erkenntnisse für die Optimierung von Rückbauprozessen vor dem Hintergrund einer Verbesserung der Recyclingpotentiale abgeleitet werden können.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9428D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Electrocycling GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) Teilprojekt: Ermittlung des intrinsischen Materialwerte	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2021 bis 30.04.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 95.331,38 €
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 den 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 vergangenen 6 Monaten des Jahres 2022 konnte nun endlich eine erste Besichtigung des sich im Rückbau befindlichen KKW Philippsburg besichtigt werden. Bei der Besichtigung konnte weitere Klarheit über eingebaute Komponenten, gerade in elektrotechnischen Schaltanlagen gewonnen werden. Der Betreiber EnKK und Electrocyling haben eine Systematik abgestimmt, wie es annähernd möglich sein könnte, die installierten Anlagenkomponenten in Quantität zu erfassen. Neben der Steuerungstechnik, die aus den 70er und 80er Jahren stammt. Bei dem Vororttermin sind weitere Komponenten besichtigt worden, welche zu einer genaueren Analyse bei Electrocyling zerlegt und anschließend bewertet werden.

Für eine Vereinfachung der logistischen Abläufe wurde beim Projektträger ein Mittel Verschiebung beantragt und diese genehmigt. Es wurden Personalkosten in geringem Umfang zu innerbetrieblichen Leistungen umgewidmet. Dadurch können anfallende Logistikkosten bei ECG abgerechnet werden. ECG hat im vergangenen Halbjahr weitere, von EnKK zur Verfügung gestellte Materialien in Gitterboxen mit eigenem Fahrzeug nach Goslar transportiert. Die Untersuchung der Materialien erfolgt in enger Abstimmung mit der TU CLZ.

Bei einem gemeinsamen Projekttreffen der Partner am Standort Goslar mit einer ausführlichen Betriebsbesichtigung konnten den Vertretern des EnKK dargelegt werden, mit welchen technischen Möglichkeiten eine effiziente Aufbereitung von Elektroaltgeräten und deren Komponenten am Standort der ECG durchgeführt wird. EnKK möchte auf Grundlage der erlangten Eindrücke in Zukunft genauer auf eine effiziente Entsorgung bei der Abgabe von Komponenten achten und ggf. die Zusammenarbeit mit ECG vertiefen, sofern wirtschaftlich sinnvoll.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Nach wie vor liegt der Schwerpunkt in der weiteren Untersuchung des durch die EnKK zur Verfügung gestellten Materialien. Hier erfolgt eine erweiterte Bewertung der Komponenten, fotografische Analyse, Zerlegung und Bewertung einzelner Bauteile mittels Röntgenfluoreszenzanalyse. Die Ergebnisse sollen Grundlage einer qualitativen Auswertung der Ressourceneffizienz beim Rückbau von AKWs liefern. Gemeinsam mit dem Projektpartner TU CLZ sollen dann tiefere Analysen (hydrometallurgisch) durchgeführt werden um die Ressourceneffizienz zu quantifizieren. EnKK und ECG sind sich einig, dass ein wichtiger Schritt im Projekt das gemeinsame Verständnis der Abfallentstehung bei EnKK und die Behandlung/Verwertung bei der ECG sein kann. Daher ist der gegenseitige Austausch und Besichtigungen sehr wichtig für das Erreichen der Projektziele. Sobald es die Lage zulässt, sollen gemeinsame Besichtigungen durchgeführt werden. Nach einer Freimessung wird von der EnKK ein „Gießharzschalter“ mit einem Gewicht von etwa 100 kg zur Verfügung gestellt. Nach einer ersten optischen Einschätzung seitens der ECG (während der Besichtigung des AKW) kann ein hoher Wertstoffgehalt erwartet werden. Aufgrund der robusten Bauweise ist eine Demontage erforderlich, eine Möglichkeit der mechanischen Aufbereitung kann vorerst ausgeschlossen werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Derzeit keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9433A
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: VP: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagegerechten Konditionierung C-14-belasteter flüssiger organischer Abfälle TP: Weiterentwicklung und Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Fraktionierung des Anodengases	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 bis 30.09.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 957.340,29 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Chem. H.–J. Friedrich	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hans-juergen.friedrich@ikts.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Flüssige organische oder gemischt-wässrige C-14-Abfälle sind nicht endlagerfähig und können daher bislang nur verbrannt werden. Die Kapazitäten hierfür sind begrenzt. Dies ist jedoch nicht für alle solche Abfälle möglich, was zu einem Entsorgungsproblem führt. Entsorgung und Zwischenlagerung solcher Abfälle sind daher mit sehr hohen Kosten verbunden.

Bisherige Untersuchungen lassen erwarten, dass auf der Basis der elektrochemischen Totaloxidation ein aussichtsreiches Alternativverfahren etabliert werden kann, das diese Nachteile vermeidet, da das C-14-Inventar unter Volumenreduktion in lagerfähiges C-14-CaCO₃ überführt wird. Das Verfahren soll hierzu weiter optimiert auf dieser Basis ein C-14-Recyclingprozess zur Verringerung des C-14-Umlaufs zu entwickeln und im Pilotmaßstab demonstriert werden. Auf diese Weise soll ein wesentlicher Beitrag zur Lösung eines schwierigen Entsorgungsproblems geleistet werden

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

AP010: Projektkoordination und Administratives

AP100: Vorbereitende Arbeiten

AP200: Optimierung und Weiterentwicklung

AP300: Entwicklung Steuerungslösung zur Trennung von Anodengasfraktionen und Erprobung neuer totzeitarme Methode zur C-14 Messung in Gasen

AP400: Scale up zur Pilotanlage und Erprobung mit realen Abfalllösungen im Dauerbetrieb und Gewinnung einer mit C-14 hoch angereicherten Gasfraktion für ein C-14-Recycling

AP500: Konditionierung/Freimessung der Reaktionsprodukte

AP600: 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:

AP010: Das kick-off-Meeting wurde am 28.04.2022 durchgeführt. Es fanden mehrere Vorstellungsgespräche mit Bewerbern für die Doktorandenstelle statt. Die Stelle konnte im Berichtszeitraum noch nicht besetzt werden.

AP100: Die Beschaffungsvorgänge für die zur Bearbeitung erforderlichen Ausrüstungsgegenstände laufen weiterhin. Für die geplanten Untersuchungen wurde zunächst ein Versuchstand mit weniger komplexem Aufbau errichtet und in Betrieb genommen.

AP200: Im Rahmen der Optimierung wird die Freisetzungskinetik von C-14 in Abhängigkeit von Art der chemischen Verbindung und elektrochemischen Parametern untersucht. Untersuchungen wurden bzw. werden zunächst mit C1-Verbindungen durchgeführt. Die derzeitigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass bei C1-Verbindungen über den größten Teil des Versuchsverlaufs die Freisetzung von C-12/-13 dominiert und sich in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen das Isotopenverhältnis rasch verschieben lässt.

AP300: Es waren keine Arbeiten geplant.

AP400: Es waren keine Arbeiten geplant.

AP500: Es waren keine Arbeiten geplant.

AP600: Es waren keine Arbeiten geplant.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP010: Das zweite Verbundmeeting ist für das IV. Quartal 2022 geplant. Eine Entscheidung zur Besetzung der Doktorandenstelle wird bis E08/22 getroffen.

AP100: Die Beschaffungsvorgänge und der Wiederaufbau der Technikumselektrolyseanlage werden fortgesetzt. Die jetzige Laborversuchsanlage wird dazu schrittweise erweitert.

AP200: Die Untersuchungen zur Freisetzungskinetik von C-14 Verbindungen mit verschiedenartigen Bindungsverhältnissen am Kohlenstoff werden fortgesetzt.

AP300: Die Bearbeitung beginnt erst zu einem späteren Zeitpunkt.

AP400: Die Bearbeitung beginnt erst zu einem späteren Zeitpunkt.

AP500: Die Bearbeitung beginnt erst zu einem späteren Zeitpunkt.

AP600: Die Bearbeitung beginnt erst zu einem späteren Zeitpunkt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es sind keine für die Bearbeitung relevanten anderen Vorhaben bekannt.

6. Berichte und Veröffentlichungen

-keine-

Berichtszeitraum: 01.01.2022 – 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9433B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., D-01328 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagergerechten Konditionierung C14-belasteter flüssiger organischer Abfälle Teilprojekt: Weiterentwicklung des Verfahrens zur totzeitarmen C14-Bestimmg. mittels Flüssigszintillation und Untersuchung zur Freimessung von C14-Rückständen nach elektrochem. Behandlung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 – 30.09.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 179.459,84 €
Projektleiter/-in: Dr. Henry Lösch	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Henry.Loesch@vkta.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Flüssige organische oder gemischt wässrige C-14-Abfälle sind nicht endlagerfähig und können daher bislang nur verbrannt werden. Dies ist jedoch nicht für alle Abfälle möglich, was zu einem Entsorgungsproblem führt. Entsorgung und Zwischenlagerung solcher Abfälle sind daher mit sehr hohen Kosten verbunden. Weiterhin sind die Kapazitäten für eine Verbrennung begrenzt.

Bisherige Untersuchungen lassen erwarten, dass auf der Basis der elektrochemischen Totaloxidation ein aussichtsreiches Alternativverfahren etabliert werden kann, das diese Nachteile vermeidet, da das C-14-Inventar unter Volumenreduktion in lagerfähiges C-14-CaCO₃ überführt wird. Das Verfahren soll hierzu weiter optimiert werden, um auf dieser Basis ein C-14-Recyclingprozess zur Verringerung des C-14-Umlaufs zu entwickeln und im Pilotmaßstab zu demonstrieren. Auf diese Weise soll ein wesentlicher Beitrag zur Lösung eines schwierigen Entsorgungsproblems geleistet werden. Durch die langjährige Erfahrung im Bereich der Strahlungsmesstechnik wird sich der VKTA hier bei der Entwicklung einer totzeitarmen C-14 Messmethode beteiligen. Weiterhin sollen die nach der elektrochemischen Totaloxidation anfallenden Reststoffe mittels der am VKTA vorhanden Freimessanlage sowie Radioanalytik auf eine Freigabe überprüft werden. Die an den VKTA angegliederte Landessammelstelle Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen besitzt für die geplanten Untersuchungen C-14-haltige Reststoffe, welche vor der elektrochem. Totaloxidation vom VKTA hinsichtlich funktioneller Gruppen untersucht werden soll.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 100 Vorbereitende Arbeiten

AP 120 Eduktcharakterisierung (11/2021-05/2022)

AP 300 Entwicklung Steuerungslösung zur Trennung von Anodengasfraktionen und Erprobung neue totzeitarme Methode zur C-14 Messung in Gasen

AP 320 Erprobung/Weiterentwicklung totzeitarme C-14-Messung (11/2021-06/2023)

AP 400 Scale up zur Pilotanlage und Erprobung mit realen Abfalllösungen im Dauerbetrieb und Gewinnung einer mit C-14 hoch angereicherten Gasfraktion für ein C-14-Recycling

AP 410 Scale up zur Pilotanlage (07/2023-03/2024)

AP 500 Konditionierung/Freimessung der Reaktionsprodukte (laufend)

AP 600 Fortschreibung Verwertungskonzept

AP 610 Verwertungskonzept (08/2024-09/2024)

AP 620 Sicherung des Know-how, wissenschaftliche Verwertung (04-2024-07/2024)

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 120 Eduktcharakterisierung

An drei Proben erfolgte eine Probenahme zum Screening der C-14 haltigen organischen Abfälle sowie zur Bestimmung der funktionellen Gruppen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen ein Vorliegen alkoholischer Lösungen. Zur weiteren Charakterisierung sind zusätzlich Analysen geplant.

AP 320 Erprobung/Weiterentwicklung totzeitarme C-14-Messung (11/2021-06/2023)

Für die (Weiter-)Entwicklung der totzeitarmen C-14 Messung wurde im ersten Schritt ein neuer Vielkanalanalysator angeschafft. Dieser fungiert gleichzeitig als Analog/Digital-Wandler. Momentan erfolgt die Anpassung sowie Optimierung der neuen Messtechnik an den vorhandenen Versuchsaufbau, mit anschließenden Validierungsmessungen. Die Verwendung eines LYSO-Kristalls zur Detektion erwies sich als schwierig, da der Kristall eine Eigenaktivität aufweist, welche im Bereich der Low-Level-Messung störend ist. Als Alternative sollen hier ein Plast-Szintillator aus Polyvinyltoluen und BaF₂ getestet werden. Weiterführend sind auch noch weitere Anpassungen bezüglich der Auswerteelektronik notwendig

4. Geplante Weiterarbeit

Fortführung der oben genannten AP.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9433C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: IUT Institut für Umwelttechnologien GmbH Justus-von-Liebig-Str. 6, 12489 Berlin.	
Vorhabenbezeichnung: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagegerechten Konditionierung C-14-belasteter flüssiger organischer Abfälle TP Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Isotopentrennung zur Rückgewinnung von C14	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 bis 30.09.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 148.838,38 €
Projektleiter/-in: Frau Guthmann-Scholz	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: K.Guthmann-Scholz@iut-berlin.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Flüssige organische oder gemischt-wässrige C-14-Abfälle sind nicht endlagerfähig und können daher bislang nur verbrannt werden. Die Kapazitäten hierfür sind begrenzt. Dies ist jedoch nicht für alle solche Abfälle möglich, was zu einem Entsorgungsproblem führt. Entsorgung und Zwischenlagerung solcher Abfälle sind daher mit sehr hohen Kosten verbunden.

Bisherige Untersuchungen lassen erwarten, dass auf der Basis der elektrochemischen Totaloxidation ein aussichtsreiches Alternativverfahren etabliert werden kann, das diese Nachteile vermeidet, da das C-14-Inventar unter Volumenreduktion in lagerfähiges C-14-CaCO₃ überführt wird. Das Verfahren soll hierzu weiter optimiert, auf dieser Basis ein C-14-Recyclingprozess zur Verringerung des C-14-Umlaufs entwickelt und im Pilotmaßstab demonstriert werden. Auf diese Weise soll ein wesentlicher Beitrag zur Lösung eines schwierigen Entsorgungsproblems geleistet werden

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

AP100: Vorbereitende Arbeiten

AP200: Optimierung und Weiterentwicklung

AP300: Entwicklung Steuerungslösung zur Trennung von Anodengasfraktionen und Erprobung neue totzeitarme Methode zur C-14 Messung in Gasen

AP400: Scale up zur Pilotanlage und Erprobung mit realen Abfalllösungen im Dauerbetrieb und Gewinnung einer mit C-14 hoch angereicherten Gasfraktion für ein C-14-Recycling

AP500: Konditionierung/Freimessung der Reaktionsprodukte

AP600: Fortschreibung Verwertungskonzept

Die von IKTS/VKTA konstruierte Pilotanlage zur elektrochemischen Totaloxidation wird im Kontrollbereich Radioaktiv der IUT gemeinsam aufgebaut. Die Anlage zur Gasaufbereitung wird durch die IUT geplant, konstruiert, aufgebaut und in Betrieb genommen.

Parallel wird mit dem Aufbau einer entsprechenden Einhausung (Handschuhbox/geschlossener Radionuklidabzug), mit Anbindung an die Absaugung und Fortluftüberwachung begonnen.

Fertig gestellt wird die Anlage durch Mitarbeiter der IUT und entsprechend den Vorgaben der IKTS betrieben. Hierbei werden reale, radioaktive, C14-haltige Lösungen zu Testzwecken verarbeitet, um in der elektrochemischen Totaloxidation die aktiven von den inaktiven Bestandteilen weitestgehend zu separieren. Der entstehende aktive Gasanteil wird aufgearbeitet und das C14-haltige Kohlendioxid auf einer Molsiebkartusche gespeichert.

Über die Thermodiffusionsanlagen der IUT wird das C14 CO₂ soweit angereichert, dass es für zukünftige Synthesen von C14-markierten Feinchemikalien genutzt werden kann.

Alle Prozesse werden analytisch mittels Flüssigscintillationanalyse und Massenspektrometrie begleitet.

Zu diesen Tätigkeiten kommen allgemeine Arbeiten der Koordination über den gesamten Zeitraum des Verbundprojektes.

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

AP300

Die Verfahrensentwicklung für die massenspektrometrische Charakterisierung des C14 CO₂ für und aus der Thermodiffusion wurde weitergeführt.

In Vorbereitung des Aufbaus der Gasaufbereitungsanlage für die aus der Elektrolyse anfallenden Gasfraktionen wurde eine " Fachtechnische Stellungnahme " zu den Anforderungen an den Strahlenschutz und die baulichen Erfordernisse für den betreffenden Laborbereich durch einen Sachverständigen erstellt auf deren Grundlage Umbau und Einrichtung in der Folgezeit realisiert werden sollen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP300

Abschluss der Methodenentwicklung für die massenspektrometrische Untersuchung der im Rahmen des Projekts anfallenden C14 CO₂ haltigen Gasfraktionen.

Beginn des Laborumbaus für die Elektrolyseeinheit und die Gasaufbereitungsanlage. (Erneuerung der Zu- und Abluftanlage sowie Installation der erforderlichen Medienanschlüsse -Wasser, Abwasser, Elektro.)

5. Bezug zu anderen Vorhaben

- keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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: 01.09.2018 bis 28.02.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 885.866,02 €
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), AP9 (Aufbau & Inbetriebnahme der stationären Messanlage), AP10 (Experimentelle Validierung mit verschiedenen Matrices), AP12 (Online Neutronen Fluss Messung), AP13 (Experimentelle Validierung mit radioaktiven Abfällen), und AP15 (Datenbanksystem).

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

Im Berichtszeitraum wurde in AP1 (Anlageauslegung, Konstruktion und Detailengineering), AP5 (Softwareentwicklung für Betrieb und Messdatenauswertung) und AP13 (Experimentelle Validierung mit radioaktiven Abfällen) gearbeitet.

In AP1 wurde ein Motor ausgetauscht, da er defekt war. Die Zange, die den oberen Stopfen hält, wird seitlich von 2 Motoren angetrieben. Ein Motor hatte Auffälligkeiten gezeigt und musste ausgetauscht werden. Der Motor ist umhüllt von PE-Platten und der Gamma-Abschirmung und war nicht mehr leicht zugänglich. Die Abschirmung wurde teilweise demontiert und ein Zugangskanal wurde zum Motor in den PE-Platten ausgearbeitet. Der defekte Motor wurde entfernt, der neue Motor eingebaut und erfolgreich getestet. In AP5 (Softwareentwicklung für Betrieb und Messdatenauswertung) wurde gemeinsam mit AiNT diskutiert welche Verbesserungen in der Steuerung der Messanlage und die Kommunikation zwischen der Framatome-Steuerung und den AiNT-Modulen unternommen werden können. Diese Änderungen dienen sowohl der Erhöhung der Performance der Messanlage als auch der Vermeidung der Fortpflanzung möglichen fehlerhaften Angaben vom Betriebspersonal in der GUI.

In AP13 (Experimentelle Validierung mit radioaktiven Abfällen) wurde seitens AiNT die Auswertung vier radioaktiver Abfälle fortgeführt und abgeschlossen. Framatome unterstützte AiNT bei der Durchführung von MCNP-Simulationsstudien sowie bei der Qualitätssicherung des finalen Berichtes.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In 2022 wird an der Erweiterung des Datenbank-Systems (AP12) gearbeitet. Die neue Spaltkammer und Elektronik (AP08) wird bestellt. Es wird an der CE-Kennzeichnung der Messanlage und an der Auslegung des Sondercontainers gearbeitet.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Das Projekt QUANTOM wurde mit dem 2. Platz im Nuclear Innovation Prize in der Kategorie „Radioactive waste management“ ausgezeichnet. Der Preis wurde von der Europäischen Kommission vergeben und zeichnet die jeweils drei besten Forschungsprojekte bzw. innovativsten Produkte in der EU in den Kategorien „Safety of reactor systems“ und „Radioactive waste management“ aus. Nachfolgend ist der Link zur Pressemitteilung der Europäischen Kommission aufgeführt: https://ec.europa.eu/info/news/nuclear-innovation-prize-seven-applications-awarded-2022-may-31_en

Nachfolgend werden nur die aktuellsten Veröffentlichungen aufgeführt. Für die weiteren Veröffentlichungen wird auf die vorhergehenden Halbjahresberichte verwiesen.

Presse Mitteilung Framatome:

<https://www.framatome.com/medias/framatome-receives-nuclear-innovation-prize-from-european-commission-euradwaste-2022/>

Dr. Laurent Coquard, Dr. Andreas Havenith, et al.: **Zerstörungsfreie stoffliche Beschreibung und Plausibilitätsprüfung radioaktiver Abfälle**, Posterbeitrag, Kerntechnik 2022, 21.-22. Juni 2022, Leipzig.

Dr. Laurent Coquard, Dr. Andreas Havenith, et al.: **Non-destructive Material Characterization of Radioactive Waste Packages with QUANTOM®**, WM2022 Conference, March 6 – 10, 2022, Phoenix, Arizona, USA

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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: 01.09.2018 bis 28.02.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 840.006 €
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 und innerhalb des Projekts validiert. 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, operativer Strahlenschutz
- AP3 Nuklearphysikalische Simulation inkl. Validierung
- AP4 Genehmigungsverfahren für den Betrieb der Messanlage
- AP5 Softwareentwicklung für Betrieb und Messdatenauswertung
- AP6 Mathematische Methodenentwicklung
- AP7 Software zur Verifizierung und Erstellung der stofflichen Beschreibung
- AP8 Neutronenspektrometrie und Neutronenflussmessung
- AP9 Aufbau & Inbetriebnahme der stationären Messanlage

- AP10 Experimentelle Validierung mit verschiedenen Matrizes (homogen, inhomogen/teilbeladen, radioaktiv)
- AP12 Online-Neutronenflussmessung
- AP14 Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalyse
- AP15 Datenbanksystem

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 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) seit Juni 2019 vorliegt, konnte nach der erfolgreichen Sachverständigenprüfung sofort mit dem Testbetrieb begonnen werden. Arbeitspaket AP4 ist somit bis auf die regelmäßige Korrespondenz mit der Behörde und die Überwachung der Genehmigungsaufgaben abgeschlossen. Mit der betriebsbereiten Messanlagen wurden im Jahr 2021 die experimentellen Messdaten (PGNAA-Spektren) für die nicht-radioaktiven homogen verteilten Referenzmaterialien im Abfallfass sowie eine erste Charge von radioaktiven Abfallfässern erhoben.

Im ersten HJ 2022 wurden die experimentellen Messungen mit teilbeladenen und inhomogenen Referenzfässern abgeschlossen. Der Fokus im Berichtszeitraum lag darin, diese Messdaten auszuwerten. Beim Auswerteverfahren wurden die hochauflösenden Gammaskpektren händisch ausgewertet, um die Prompt-Gamma-Peaks zu identifizieren und das Nettomesssignal zu quantifizieren.

Der Schwerpunkt im Berichtszeitraum lag bei der Software- und Methodenentwicklung (AP5 & AP6), wie beispielsweise der Entwicklung der automatischen Spektrenauswertung und deren Integration in die Auswertesoftware. Die automatische Spektrenauswertung beinhaltet die Aufgaben des automatischen Identifizierens, Fittens und Entfaltens von Prompt-Gamma-Peaks. Diese Aufgabe ist überaus anspruchsvoll, weil in den experimentell erhobenen Spektren bis zu 700 Peaks enthalten sind.

Im ersten HJ 2022 wurde die Schnittstellendefinition und Implementierung des Neutronentransport Code SPARC zur Auswertesoftware der Messungen abgeschlossen. Die im Projekt entwickelte Neutronentransportmodellierung (SPARC) basiert auf einer SPN-Diffusionsapproximation und einem Finite-Elemente-Programm zur Lösung der partiellen Differentialgleichungen. Der Code für die Massenrekonstruktion wurde weiterentwickelt, welcher im Ergebnis die orts aufgelöste Massenverteilung der einzelnen Elemente im Fass berechnet. Eingangsgrößen dieses Codes sind die Messparameter, welche während der Messung aufgenommen oder durch Neutronen- und Gamma-Transportmodellierungen hergeleitet werden. Durch die angestrebte Verkettung sämtlicher Softwareprogramme werden, die seitens AiNT entwickelten Transportcodes (TRACER, SPARC) im Gesamtauswerteverfahren integriert. Der Code der probabilistischen Unsicherheitsanalyse wurde im Berichtszeitraum angewendet und getestet (AP14). Die probabilistische Berechnung der Gesamtunsicherheit einer Messung berücksichtigt sämtliche bekannte Unsicherheitsbeiträge und bildet diese bis dato hinreichend genau ab. An der Programmierung des Codes zur Berechnung von Erkennungs- und Nachweisgrenzen (Sensitivitätsanalyse) wurde weitergearbeitet, wobei diese Arbeiten noch nicht abgeschlossen sind.

4. Geplante Weiterarbeit

Die Messanlage wird im CAD-Modell seitens Framatome in einen Sondercontainer integriert. Hierzu werden technische Zeichnungen und Planungen erstellt, die AiNT übergeben werden. AiNT simuliert mit MCNP entsprechend dieser Eingangsdaten die Gamma- und Neutronendosisleistung innerhalb und außerhalb der Anlage im Sondercontainer und prüft die Einhaltung der ODL-Grenzwerte für einen anzeigebedürftigen Betrieb gemäß §17 StrlSchG. Des Weiteren wird bis zum Projektabschluss die Auswertung der radioaktiven Abfallfässer und der nichtradioaktiven heterogenen/teilbeladenen Referenzmaterialien fortgeführt. Die experimentellen Messungen hierzu sind bereits abgeschlossen, sodass für die Quantifizierung der Elementmassen nur noch die Berechnung der elementabhängigen partiellen Wirkungsquerschnitte und die Simulationsstudien zur Gamma- und Neutronentransportmodellierung durchgeführt werden. Bei erfolgreichem Abschluss der Validierungsphasen ist das Messverfahren im Rahmen des Projekts überprüft und validiert. Es wird an der Erweiterung des Codes zur Berechnung von Erkennungs- und Nachweisgrenzen gemäß DIN ISO 11929 (Sensitivitätsanalyse) gearbeitet. Innerhalb von AP5 wird außerdem an der automatischen Spektrenauswertung und der iterativen Kopplung der einzelnen Softwaremodule in der Auswertesoftware gearbeitet. Es wird getestet, welchen Effekt stark abweichende initiale Elementzusammensetzungen auf das iterative Auswerteverfahren haben. Hierbei wird hergeleitet und überprüft, welche Konvergenzkriterien für das Auswerteverfahren hinreichend sind. Im laufenden Testbetrieb wird die Steuerungssoftware getestet und bedarfsgerecht weiterentwickelt. Der Fokus bei der Weiterentwicklung der automatischen Spektrenauswertung liegt auf der Robustheit und der Qualitätssicherung der Automatisierung.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Das Projekt QUANTOM wurde mit dem 2. Platz im Nuclear Innovation Prize in der Kategorie „Radioactive waste management“ ausgezeichnet. Der Preis wurde erstmalig von der Europäischen Kommission vergeben und zeichnet die jeweils drei besten Forschungsprojekte bzw. innovativsten Produkte in der EU in den Kategorien „Safety of reactor systems“ und „Radioactive waste management“ aus. Nachfolgend ist der Link zur Pressemitteilung der Europäischen Kommission aufgeführt: https://ec.europa.eu/info/news/nuclear-innovation-prize-seven-applications-awarded-2022-may-31_en

Nachfolgend werden nur die aktuellsten Veröffentlichungen aufgeführt. Für die weiteren Veröffentlichungen wird auf die vorhergehenden Halbjahresberichte verwiesen.

Dr. Laurent Coquard, Dr. Andreas Havenith, et al.: **Zerstörungsfreie stoffliche Beschreibung und Plausibilitätsprüfung radioaktiver Abfälle**, Posterbeitrag, Kerntechnik 2022, 21.-22. Juni 2022, Leipzig.

Dr. Laurent Coquard, Dr. Andreas Havenith, et al.: **Non-destructive Material Characterization of Radioactive Waste Packages with QUANTOM®**, WM2022 Conference, March 6 – 10, 2022, Phoenix, Arizona, USA

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 28.02.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 194.225,75 €
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 errichtet und getestet und innerhalb des Projekts validiert. 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 des FINT liegt in der Messung des Neutronenflusses und des Neutronenspektrums innerhalb und außerhalb der Messanlage.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Arbeitspakete des Gesamtvorhabens, an denen das 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 AP12 gearbeitet. Im vorherigen Berichtszeitraum hatte sich herausgestellt, dass die Zählraten der Neutronenzählrohre, im mobilen, bzw. im stationären Teil der Anlage sich gegenseitig beeinflussen, da für jeden der beiden Anlagenteile die Daten von jeweils 16 Zählrohren in einer Elektronik zusammengeführt werden. Das Konzept zur Totzeitkorrektur wurde weiter verfeinert und die für die experimentelle Bestimmung der Totzeit zu verwendenden Kanäle festgelegt. In der Auswertesoftware für die ^3He -Detektoren wurde das neue Verfahren zur Totzeitkorrektur zum Großteil implementiert. Der Umbau der Elektronik und ein Test des Verfahrens steht noch aus.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In AP12 wird daran gearbeitet die Implementierung der direkten Messung der Totzeit der beiden Elektronikmodule abzuschließen. Anschließend wird ein Test des Verfahrens durchgeführt, um zu überprüfen, inwieweit das neue Verfahren zu einer Verbesserung der Messwerte führt. Des Weiteren wird die Beschaffung einer geeigneten Spaltkammer nebst zugehöriger Auswerteelektronik erfolgen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Das Projekt QUANTOM wurde mit dem 2. Platz im Nuclear Innovation Prize in der Kategorie „Radioactive waste management“ ausgezeichnet. Der Preis wurde erstmalig von der Europäischen Kommission vergeben und zeichnet die jeweils drei besten Forschungsprojekte bzw. innovativsten Produkte in der EU in den Kategorien „Safety of reactor systems“ und „Radioactive waste management“ aus. Nachfolgend ist der Link zur Pressemitteilung der Europäischen Kommission aufgeführt: https://ec.europa.eu/info/news/nuclear-innovation-prize-seven-applications-awarded-2022-may-31_en

Nachfolgend werden nur die aktuellsten Veröffentlichungen aufgeführt. Für die weiteren Veröffentlichungen wird auf die vorhergehenden Halbjahresberichte verwiesen.

- Dr. Olaf Schumann: **QUANTOM® – QUantitative ANalyse TOxischer und nicht-toxischer Materialien**, Jahresbericht 2021, Fraunhofer INT

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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: 01.05.2019 bis 30.12.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 943.315,14 €
Projektleiter/-in: Dr. Christoph Lierse von Gostomski	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: 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 Gammaskopmetrischer 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 (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im bisherigen Vorhabenverlauf wurden die Analysealgorithmen zur Auswertung segmentierter Gamma-Scan-Messungen im zweidimensionalen untersucht, also die Messdaten und Materialverteilungen eines horizontalen Schnitts betrachtet. Reale Messungen mittels segmentiertem Gamma Scanning (SGS) liefern in der Regel aber zweidimensionale Messdaten für ein dreidimensionales Abfallgebinde.

Die entwickelten Algorithmen zur Berechnung der Gewichtsmatrizen wurden von Anfang an mit dem Ziel der dreidimensionalen Anwendung implementiert: Die durchgeführten Arbeiten erforderten somit „nur“ die Erweiterung der Materialbeschreibungen um eine zusätzliche Dimension zur vollständigen Beschreibung des Gebindes sowie die Berechnung der Gewichtsmatrizen mittels des adaptierten Box-Intersect Algorithmus für zusätzliche Detektorpositionen. Um die Berechnung effizienter zu gestalten, wurde deren Berechnung in

zwei Schritte aufgespalten: Als erstes werden die jeweiligen Wegabschnitte in den Voxeln berechnet und gespeichert. Diese sind für jede Geometrie gleich und nur vom absoluten Abstand zwischen Detektor und Voxelmittelpunkt entlang der z-Achse abhängig. Dies bedeutet, dass ihre Berechnung in der Regel nur bei Änderung des Voxelmodells oder der SGS-Parameter neu erfolgen muss. Im zweiten Schritt wird mit den berechneten oder gespeicherten Daten die Berechnung der Gewichtsmatrizen für die volle dreidimensionale Geometrie, unter Berücksichtigung der Materialverteilung, durchgeführt.

Für diese erweiterten Gewichtsmatrizen wurden die Markov-Chain-Montecarlo Algorithmen angepasst. Hierfür mussten auch die Beschreibung der Messdaten (die beobachteten Größen) um eine Dimension erweitert werden.

Als erster Test wurde eine Punktquelle mit beliebiger Position im Gebinde als Verteilungshypothese angenommen. Hier stellte sich allerdings heraus, dass das Skalierungsverhalten des verwendeten Frameworks (PyMc3) unzureichend ist und für den vorliegenden Fall so nicht geeignet erscheint. Dies dürfte an der internen Modellierung der Datenstrukturen liegen, die zahlreiche Zusatzfunktionen, wie beispielsweise die symbolische Berechnung von Gradienten, bieten. Kritisch war insbesondere die geringe Geschwindigkeit mit nur einigen Dutzend Samples pro Minute.

Zur Umgehung dieses Problems wurde eine direkte Implementierung des Metropolis-Hastings-Algorithmus (MH-Algorithmus) durchgeführt. Hiermit konnte eine Erhöhung der Geschwindigkeit von mehreren Größenordnungen für den dreidimensionalen Fall erzielt werden. Verfeinerungen des MH-Algorithmus wie sie in PyMc3 verwendet werden, insbesondere die adaptive Anpassung der Schrittweite konnten ebenfalls in die neue Implementierung übernommen werden, wie auch die parallele Berechnung mehrerer Traces.

Mit diesen Änderungen konnte die obige Fragestellung, die Rekonstruktion mit Punktquellenhypothese, erfolgreich gelöst werden. Die Anwendung des Algorithmus in drei Dimensionen wurde somit mit einer ersten einfachen Aktivitätshypothese demonstriert.

Mit zunehmender Erfahrung konnten verschiedene relevante Visualisierungen von Daten identifiziert werden die für die Analyse von Interesse sind. Hier wurden verschiedene Klassen zur automatischen Generierung von Reports mit allen notwendigen Darstellungen und verwendeten Messdaten erstellt.

Neben den der Entwicklung der Algorithmen wurde weiter an einem Graphical-User-Interface (GUI) zur Nutzung durch nicht-Experten gearbeitet. Augenmerk liegt auf einem modularen Ansatz mit Trennung von GUI-Klassen und Algorithmen um neue Funktionalitäten flexibel und ohne gegenseitige Beeinflussung implementieren zu können.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Als nächster Schritt soll die in zwei Dimensionen schon demonstrierte Verwendung von Linearkombinationen verschiedener Aktivitätsverteilungshypothesen auch in 3 Dimensionen Anwendung finden. Herausfordernd dabei ist die Erhöhung der Zahl der freien Parameter zur Beschreibung. Erste Vorarbeiten hierzu deuten auf die Verwendung von multinormalverteilten Parametern mit einer wohldefinierten Kovarianzmatrix basierend auf einer radialen Basisfunktion zur Regularisierung hin. Ein weiterer großer Abschnitt betrifft die Implementierung des Auswertalgorithmus für die digitale Radialradiographie (DRR), mit der der Einfluss der Dichteverteilungen im Gebinde berücksichtigt wird.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen von ENTRAP (European Network of Testing Facilities of Radioactive Waste Packages) wurde durch eine an der RCM angesiedelten Werkstudententätigkeit die Implementierung eines von SCK/CEN, Belgien, entwickelten alternativen Algorithmus auf der Basis des Bayes-Theorems weitestgehend abgeschlossen werden. Dessen Anwendung auf reale Messdaten zeigte aber, dass er „nur“ für die spezielle Aufgabenstellung, d. h. Gebinde mit entsprechenden Matrixzusammensetzungen, erfolgreich anwendbar ist, im anderen Fällen, wie von uns ausgewerteten Messdaten für zementierte Gebinde zu (deutlichen) Unterschätzungen der rekonstruierten Aktivität führen kann.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Konferenzbeitrag und Peer-Reviewed Proceedings:

Stefan Rummel, Thomas Bücherl, Christoph Lierse-von-Gostomski, Improvement of Quantification in Non-Destructive Characterization of Radioactive Waste Packages, Oral presentation in Session 018 - Radiological Characterization Methods for LLW/ILW Worldwide, WM2022 Conference, March 6 – 10, 2022, Phoenix, Arizona, USA,

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9420
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke	
Vorhabenbezeichnung: Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebäude	
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 Fassgebäude 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,
AP3 (Konzeptphase): Abgleich und Anpassung des Entwurfs mit KTA-Regelwerk und DIN-Normen, Ausarbeitung eines abschließenden Entwurfs des kompletten Systems,
AP4 (Software-Entwicklung): Überführung der Aufnahmen in lokales Koordinatensystem, automatische Erkennung von Schadstellen aus Bildern, automatische Analyse des 3D-Profiles,
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,

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 AP6 bis AP8 bis zur finalen Reife des Demonstrators 1.0 (M3), Bau des Demonstrators 2.0,
AP9 (Praxisphase und Abschlusstest): Testläufe unter realen Bedingungen, erneute Anpassung, Validierung und Verbesserung der Hard- und Software bis zur finalen Reife (M4),
AP10 (Evaluationsphase): Evaluation des gesamten Vorhabens, Ergebnispräsentationen.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse (mit Referenz zu AP4, AP6 und AP7)

Es wurde ein umfassender Versuchsplan erstellt und konsequent abgearbeitet. Somit wurde eine breite Datengrundlage geschaffen und das System ausführlich getestet.

Mittels Laserlichtschnittsensor und Kameras wurde die komplette Fassoberfläche, einschließlich Mantel, Deckel und Boden aufgenommen. Die Daten wurden erfasst, ausgewertet und analysiert.

Als erstes Ergebnis wurde mit den Daten des Laserlichtschnittsensors eine Höhenkarte vom abgewickelten Fassmantel erstellt. Hiermit können geometrische Verformungen wie Dellen und Beulen an der Fassoberfläche identifiziert und lokalisiert werden (siehe Abb. 1).

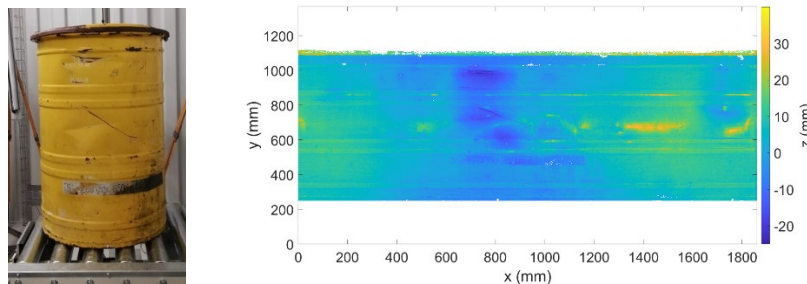


Abb. 1 – Höhenkarte des abgewickelten beschädigten Fassmantels

Probleme ergaben sich bei der Inspektion von Fassdeckel und -boden mithilfe des Laserlichtschnittsensors. Diese sollten ursprünglich durch diametrale Profilmessungen während der Rotation auf Drehteller und Kippanlage erfasst werden. Wenn der Laserlichtschnittsensor jedoch nicht exakt auf den Mittelpunkt von Fassdeckel bzw. -boden ausgerichtet ist, entsteht hier eine Lücke in den erfassten Daten. Da die Inspektionsergebnisse von Fassdeckel und -boden in diesem Fall nicht zufriedenstellend sind, wurde ein neues Messkonzept entwickelt, welches auf linearem Verfahren von Fass bzw. Sensor basiert. Dieses wird in nächster Zeit konstruiert und getestet.

Aufgrund störender Reflektionen auf der lackierten Fassoberfläche durch die LED-Auflichtbeleuchtung wurde ein Konzept zur Verminderung dieser Einflüsse entwickelt. Dies umfasst zunächst die Einführung einer indirekten Beleuchtung durch sog. Hohlkehlen (Metallzylinderausschnitte). Die LED-Beleuchtung bleibt dabei bestehen, diese ist jedoch nicht mehr direkt auf das Fass gerichtet, sondern in Richtung der Hohlkehlen. Das Beleuchtungsprinzip wird für die Mantel- und Bodenaufnahme angewendet. Für die Deckelaufnahme kommt Diffusionsmaterial zum Einsatz. Der Einsatz o. g. Hohlkehlen für die Deckelaufnahme wird evaluiert.

Nach weiteren Testläufen konnte festgestellt werden, dass die vorliegende Triggerimplementierung für einen hinreichenden Bildeinzug der Kameras nicht optimal geeignet ist. Alternative Möglichkeiten über IO-Hardware, neue Kameras oder Änderung der Triggerimplementierung werden evaluiert.

Des Weiteren konnten die 2D- und 3D-Daten (Bilder und Entfernungsmessungen) erfolgreich fusioniert werden. Daraus entstehende, mehrkanalige Bilder konnten bei ersten Tests alle visuell sichtbaren Oberflächenschäden wie Korrosion, Risse, Verfärbungen sowie Schmutz dargestellt und quantifiziert werden (siehe Abb. 2).

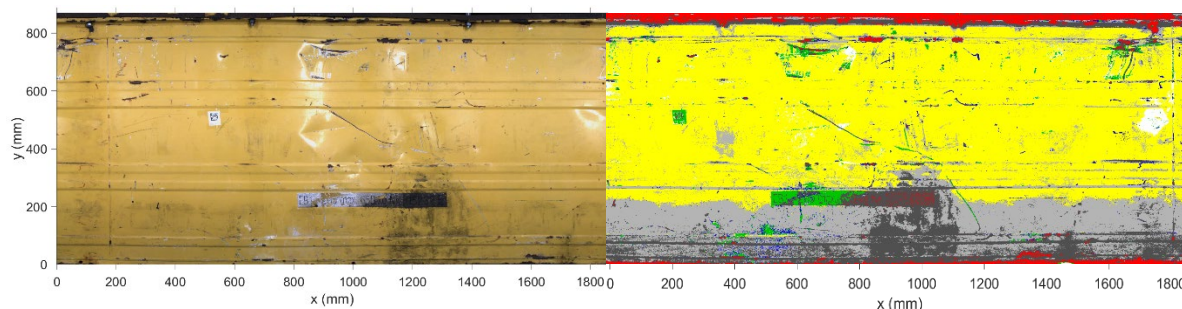


Abb. 2. – Zusammengesetztes Bild und Klassifizierung des abgewickelten Fassmantels

■ 3,9%	■ 12,5%	■ 1,5%	■ 1,3%
Korrosion	dunkler Schmutz	Reflexion	Farbflecken
■ 57,6%	■ 21,2%	heller	■ 2,0%
unbeschädigt	Schmutz	Grundierung	

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu AP4, AP7, AP8)

Zur Realisierung einer lückenlosen Aufnahme von Deckel und Boden durch die Lichtschnittsensoren wird die Anlage in dieser Hinsicht durch eine zusätzliche Lineareinheit ergänzt. Nach dieser Umrüstung wird die Aufnahmesensorik kalibriert.

Die Software zum automatisierten Dateneinzug und zur Verarbeitung (Schadensdetektion) wird nach Umrüstung der Anlage weiterentwickelt.

Deep-Learning-Verfahren zur Schadensdetektion werden evaluiert. Zusätzlich wird die Deformation der Fässer mittels Lichtschnittsensordaten bei der Schadensdetektion berücksichtigt.

Die durch den Versatz von Zylinderachse (Fass) und Rotationsachse (Drehteller) entstehende Exzentrizität bei der Mantelaufnahme soll untersucht und durch ein zu entwickelndes Modell ausgeglichen werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- FORKA Statusseminar vom 24. bis 25. Mai 2022 in Berlin, Vortrag zu „EMOS – Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebäude“
- Helmholtz Energy Young Scientist Workshop vom 30. bis 31. Mai 2022 in Frankfurt, Poster – „Development of a mobile, automated, optical inspection system for radioactive drums“

- FISA 2022 - EURADWASTE '22 - SNETP FORUM 2022, vom 30. Mai bis 03. Juni 2022 in Lyon – Frankreich, Poster – „*Development of a mobile, automated, optical inspection system for radioactive drums*“
- KERNTECHNIK 2022 vom 21. bis 22. Juni 2022 in Leipzig, Vortrag zu „*EMOS – Development of a mobile, automated, optical inspection system for radioactive drums*“
- ISPRS-Kongress in Nizza 2022, „*Corrosion detection for industrial objects: from multi-sensor system to 5D feature space*“

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 Vorhabenbeschreibung 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

Als Vorbereitung für die Fusionierung des Versuchsstands am FAPS und des Messtischs der AiNT, wurde im Berichtszeitraum ein Workshop zum Zwecke der geometrischen Erfassung der Abfalleinzelstücke durchgeführt. Hier konnte gemeinsam im Projektverbund ein Vorgehen entwickelt werden, mit diesem die Anlage der AiNT ein konsistentes Höhenprofil der auf dem Messtisch befindlichen Einzelstücke erfassen kann. Dieses Höhenprofil kann nach Erfassung in einem kompatiblen Format an das Roboterteleoperationssystem übertragen werden. Dort wurden Vorbereitungen getroffen, sodass diese Geometrien in der virtuellen Umgebung visualisiert werden können.

Im Berichtszeitraum wurden weitere Optimierungen mit anschließenden Tests an der Visualisierung von stereoskopischen Kamerabildern (Exakte Umgebungsrepräsentation AP2a) innerhalb der VR-Umgebung durchgeführt. Diese Arbeiten konnten auf Grund von Neupublikationen von Softwarealgorithmen aus dem Bereich Neural Radiance Field (NeRF) erst jetzt umgesetzt und mit unseren bisher entwickelten Verfahren verglichen werden. Resultierend aus den durchgeführten Tests hat sich jedoch gezeigt, dass diese Verfahren, durch ihren enormen Rechenaufwand und die hierdurch geringe Bildwiederholrate, den Anforderungen der Teleoperation nicht genügen. Bei Bedarf kann NeRF für die initiale Erfassung der statischen Zellenrepräsentation genutzt werden. Dies wird aber in diesen Forschungsvorhaben nicht weiterverfolgt.

In AP4 steht Framatome weiterhin eng im Austausch mit dem FAPS. Die Ergebnisse aus unseren NeRF Versuchen wurden mit dem FAPS besprochen und die weiteren Schritte innerhalb dieses Arbeitspakets daraus abgeleitet. Des Weiteren wurde in AP4 ein Prototyp einer Linearkinematik entwickelt, mit der eine Stereokamera anstelle des Kameraroboters eingesetzt werden kann. Hierbei wurden anhand von Bewegungsanalysen während der Teleoperation die Kinematik der Achse ausgelegt. Im Vergleich zum Kameraroboter und

statischen Kameras können hiermit Platz- und Kostenersparnisse bzw. eine gesteigerte Datenfusionierungsqualität erreicht werden.

Über die technischen Arbeiten hinaus, wurden Gespräche mit Bedarfsträgern geführt und ein Vortrag auf einer Fachtagung (siehe Kapitel 6) gehalten.

4. Geplante Weiterarbeit

Die im Berichtszeitraum erreichten Ergebnisse zur exakten Umgebungsrepräsentation aus AP2a) Verfahren zur VR-Darstellung und aus AP2b) Roboteransteuerung wurden bereits erfolgreich getestet. Weiterhin ausstehend sind Tests bzgl. der beiden auf Stereoskopie basierenden Verfahren zur Darstellung der VR an der Versuchsanlage am FAPS, entsprechend AP1b). Für diese Testergebnisse musste zuvor die Kollisionskontrolle integriert werden. Finale Tests und eine entsprechende Validierung sind gemeinsam mit der Evaluierung der Kollisionskontrolle geplant (Meilenstein C).

In AP4 kooperieren FAPS und Framatome gemeinsam mit AiNT bei der Punktwolke-Generierung und der dazugehörigen orts- und zeitabhängigen Dokumentation, hierzu ist für den kommenden Berichtszeitraum eine Zusammenführung der beiden Versuchsstände geplant.

Diese Punktwolke des 3D-Laserscanners bei AiNT wird als Grundlage für die weitere Verarbeitung und damit für den Digitalen Zwilling getestet und gemeinsam bewertet.

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, soweit sie stattfinden, teilnehmen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

/1/ F. Querfurth et al.: „Robotergestützte Sortierung radioaktiver Abfälle zwecks volumenoptimierter Konditionierung – VIRERO®“, Kerntechnik 2022, Leipzig, 21. - 22. Juni 2022.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9422B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundprojekt: Virtual 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 im AP3 der Vorhabensbeschreibung: „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 & Detektormodellierung

Die Erstellung und Parameteroptimierung der 3 Detektormodelle (HPGe, NaI, CeBr) wurde erfolgreich abgeschlossen. Diese Detektormodelle stehen für die Simulation des Photonentransports während der Analyse zur Verfügung. Hiermit ist das Arbeitspaket AP3a) abgeschlossen.

AP3b) Kalibrierung & Testbetrieb

Im Q1/2022 wurde die Kalibrierung der Gamma-Detektoren erfolgreich beendet. Für den Testbetrieb wurde ein Experimentierplan erstellt, welcher 5 sukzessiv komplexer werdende Messanordnungen berücksichtigt, angefangen von einer Punktquelle bis hin zu durch typische Reststoffteile verdeckte Punkt- und Volumenquellen. Jede Messanordnung wird mit unterschiedlichen Kollimatordurchmessern und Mustern von Messpositionen für jeden der 3 energieauflösenden Gamma-Detektoren wiederholt. Mittels der aus der Auswertung gewonnenen Erkenntnisse wird das räumliche Auflösungsvermögen der Aktivitätsverteilung durch die Messanlage evaluiert. Zudem werden aus den unterschiedlichen Mustern für die Messpositionen (kein Überlapp zwischen Kollimationsbereichen unterschiedlicher Messpositionen bis hin zu 30%-igem Überlapp) Aussagen über optimale Muster von Messprogrammen getroffen. Bereits abgeschlossen wurden in Q2/2022 die Messungen an einer sowie zwei Punktquellen mit den beiden Szintillationsdetektoren.

Mittels schwarzer Gummimatten wurde die Anlage gegen Reflektion des Laserlichts vom 3D-Scanner ertüchtigt. Das Zusammenfügen der Bahnen aus Punktwolken zu einer fusionierten Punktwolke wurde implementiert und die Aufnahmen validiert.

AP3c) Softwareentwicklung

Im Arbeitspaket Softwareentwicklung erfolgte im Q1/2022 und Q2/2022 die Weiterentwicklung der Steuerungssoftware. Die Weiterentwicklung umfasst die automatisierte Ausführung mehrerer Messungen anhand eines vordefinierbaren Messprotokolls. Hiermit können nun alle relevanten Messdaten automatisiert erhoben werden. Parallel dazu ist eine Datenbank implementiert worden, welche Mess- und Auswertedaten speichert. Die Implementierung der Datenbank ist abgeschlossen. In Q2/2022 wurde die Entwicklung einer Applikation für die Aktivitätsrekonstruktion begonnen. Diese

Applikation erstellt aus den Punktwolken des Laserscanners ein Modell für die Simulation des Photonentransports aus dem Messgut in den jeweiligen Detektor. Hieran anschließend wird aus den analysierten Gammaskpektren und den Ergebnissen der Photonentransportsimulation das nuklidspezifische Aktivitätsinventar des Messguts rekonstruiert. Für die Modellierung der Detektoren im Photonentransport werden die in Arbeitspaket AP3a) gewonnenen Detektorparameter herangezogen.

4. Geplante Weiterarbeit

AP3b) Kalibrierung & Testbetrieb

Die aktuell laufende Messkampagne wird vrstl. in Q3/2022 abgeschlossen. Hierzu sind die bisher durchgeführten Versuche mit dem HPGe-Detektor zu wiederholen. Anhand der aufgenommenen Daten und der in AP3c) noch zu entwickelnden Aktivitätsrekonstruktion werden optimale Messeinstellungen bzw. Messprogramme für unterschiedliche Anwendungsfälle abgeleitet. Im weiteren Testbetrieb werden die für die Softwareentwicklung benötigten Eingangsdaten generiert.

AP3c) Softwareentwicklung

Die automatisierte Aktivitätsrekonstruktion wird anhand der während des Testbetriebs aufgenommenen Messdaten entwickelt und während des Testbetriebs erprobt. Hierbei wird das Zusammenspiel der einzelnen Softwarekomponenten, Steuerungssoftware und automatisierte Aktivitätsrekonstruktion getestet. Für die Steuerungssoftware werden Funktionstests definiert, welche entweder automatisch oder als wiederkehrende Prüfung regelmäßig ausgeführt werden. Die Datenbank wird im Demonstratorbetrieb erprobt und die Weiterleitung der zusammengeführten Punktwolken an den Projektpartner FAPS implementiert. Die Auswertung der aufgenommenen Gammaskpektren geschieht aktuell noch manuell. Durch die avisierte Automatisierung dieser Auswertung wird eine zeiteffizientere Auswertung der Messdaten erreicht.

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

- /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/ F. Querfurth et al.: „**Robotergestützte Sortierung radioaktiver Abfälle zwecks volumenoptimierter Konditionierung - VIRERO**“, Kerntechnik 2022, Leipzig, 21. - 22. Juni 2022.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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.

Die Entwicklung der robotergestützten Sortieranlage, des immersiven und lernfähigen Teleoperationssystems, die räumliche Charakterisierung hochindividueller Handhabungsobjekte sowie autonome Roboterfähigkeiten zur Handhabung und Sortierung der Abfallteile liegen im Forschungsfokus des Lehrstuhls FAPS.

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP1 (b und c) Weiterführende Versuche zum kontrollierten Schneiden von Schrottteilen haben zusätzliche Handlungsbedarfe bei der Entwicklung der Schneidzone mit Werkstückhalterung und Schutzeinhausung aufgezeigt. Die bereits beschriebene flexible Aufhängung der Werkstückhalterung erschwert ein effizientes Arbeiten, da die mit Federn gelagerte Halterung nach Schneidvorgängen und nach der Entnahme von geschnittenen Objektteilen über einen Zeitraum von bis zu 30 Sekunden nachschwingt. Dadurch wird ein erneutes Einsetzen von Schrottteilen für nachfolgende Schneidvorgänge zumindest erschwert und gegebenenfalls deutlich verzögert. Da das flexible Verhalten nur während des Schneidvorganges zum Entkoppeln der Prozesskräfte von den beteiligten Robotersystemen benötigt wird, wurden mehrere Konzepte erarbeitet, um dem Problem zu begegnen. Diese sind momentan Gegenstand der Vorbereitung einer Patentanmeldung und werden daher zunächst nicht weiter dargestellt. Neben der Aufhängung von Schneidteilen hat sich ebenfalls ein Potenzial bei der Ausgestaltung der Schutzeinhausung gezeigt. Geschnittene Teile werden zuverlässig von den Vorhängen und Seitenelementen in der Schneidzone aufgefangen. Allerdings bleiben manche Fragmente zufällig an schwer mit einem der Robotersysteme erreichbaren Stellen innerhalb der Schutzeinrichtung liegen. Daher wurde eine pneumatische und digital ansteuerbare Kippvorrichtung in die Bodenplatte der Einhausung integriert. Durch ein Kippen nach einem Schneidvorgang rutschen nun alle Teile in den vorderen Entnahmbereich. Gleichzeitig bleibt bei nicht gekippter Bodenplatte genügend Arbeitsraum um das Schneidwerkzeug mit dem Roboter relativ zu den Schneidobjekten zur Vorbereitung eines Schneidvorganges zu positionieren. Für die beschriebenen Elemente wurde die Integration in die Augmented Reality (AR) Ansteuerung vorbereitet und wird aktuell umgesetzt.

AP4 (b) Zur Vorbereitung der Übernahme von Punktwolken und Objektinformationen, die bei der radiologischen Charakterisierung entstehen und die bei der Greifplanung und bei autonomen Funktionen genutzt werden können, wurde online ein gemeinsamer Workshop mit allen Projektpartnern abgehalten. Dabei konnten für alle Beteiligten geeignete Austauschformate identifiziert werden, die eine effiziente Übernahme der mittels Laserscanner und radiologischen Sensoren erzeugten Daten in das zur weiteren Ansteuerung verwendete Framework ROS erlauben. Konkret sollen unter anderem Pointclouds als Austauschformat genutzt werden.

Weiterhin wurden neue Kamerasysteme der Firma Stereolabs vom Typ ZED2i mit Polarisationsfilter in die Versuchsanlage integriert. Die Systeme wurden für verschiedene Anwendungen zur Objekterkennung und zur Greifposebestimmung in die jeweiligen Softwarestacks integriert und anschließend hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit bewertet. Dabei zeigten sich durchweg bessere Ergebnisse im Vergleich zu Kameras vom Typ ZED2 mini

desselben Herstellers sowie zu 3D Kameras D435i der Firma Intel und Kinect Azure Kameras der Firma Microsoft.

In AP5 (b und c) Sowohl zur Greifposesbestimmung als auch zur autonomen Vereinzelung wurde eine Pipeline zur Objekterkennung, Poseschätzung und zum Greifen in der Versuchszelle implementiert. Diese zielt zunächst auf das Greifen vorab bekannter Objekte ab und ist ohne Anpassung nicht für gänzlich unbekannte Schrottteile nutzbar. Im Zusammenspiel mit den bereits im letzten Bericht beschriebenen Ansätzen zum Einlernen von Teilen können somit aber zumindest für wiederkehrende Objekte Zusatzinformationen in der VR Umgebung angezeigt werden. Weiterhin können damit angelernte Objekte autonom gegriffen werden. Die Pipeline integriert den Klassifikationsansatz YOLO zur Erkennung von Objekten und zur entsprechenden Segmentierung einzelner Bildausschnitte der Farb- und Tiefendaten von RGBD Kameras. In diesen Ausschnitten verbleiben dann nur Bildanteile sowie Teile einer Punktwolke, die zu einem einzelnen Objekt gehören. Anschließend erfolgt in diesen Teildatensätzen eine Berechnung des wahrscheinlichen Frustums. Anschließend an die Kegelstumpfschätzung erfolgt einer Machine-Learning basierte Poseschätzung mittels PointNet. Die damit ermittelte Poseschätzung wird abschließend im Iterative-Closest-Point Verfahren verbessert. Um diesen grundlegenden Ansatz an reale Prozessabläufe mit der Auswahl von Greifobjekten und möglichen Fehlerfällen anpassen zu können beziehungsweise für Nutzende einer AV Teleoperation zugänglich zu machen, wurde der Ansatz auf eine State-machine auf der Basis des ROS Frameworks smach abgebildet.

4. Geplante Weiterarbeit

Mit Bezug zu AP1 (b) sowie AP5 (a) wird ein neuartiges Eingabegerät zur effizienten Ansteuerung der AV Anlage mittels Handgesten entwickelt. Dazu soll ein prototypischer Handschuh aufgebaut werden, in dem die Beugung über alle Gelenke von allen fünf Fingern sowie das Opponieren des Daumens erfasst werden soll. Ziele ist eine Bewertung hinsichtlich der Effizienz der Ansteuerung im Vergleich zu Tastendrücken auf den bislang verwendeten Eingabegeräten. Weiterhin wird eine Eignung zur robusten und gegebenenfalls sicherheitsgerichteten Freigabe von Steuerungsfunktionen untersucht.

In AP4 (b) wird weiter an der Datenfusion aus der Umgebungserfassung und der radiologischen Charakterisierung gearbeitet. Dazu steht der Aufbau eines gemeinsamen Referenzsets an möglichen Teilen an, um Messungen und Greifoperationen über die unterschiedlichen Standorte der Partner hinweg in standardisierten und vergleichbaren Szenarien durchführen zu können

In AP5 (c) wird die Integration weicher Greifsysteme erfolgen, um weitere Versuche zum Greifen gänzlich unbekannter Objekte durchzuführen und durch die Integration einer mechanischen Intelligenz die Robustheit der vollständig autonomen Greifvorgänge zu erhöhen. Weiterhin werden Ansätze basieren auf Mask-RCNN untersucht, um zur Unterstützung der autonomen Vereinzelung Regionen zusammenhängender, aber unbekannter Objekte schätzen und Maskieren zu können.

Als Vorbereitung für AP5 (d) werden weitere grundlegende Versuche zum Imitation-beziehungsweise Reinforcement Learning durchgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Seit Projektstart haben sich keine Änderungen gegenüber der Antragstellung ergeben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Blank, A., Karlidag, E., Zikeli, L., Metzner, M., Franke, J. (2022). Adaptive Motion Control Middleware for Teleoperation Based on Pose Tracking and Trajectory Planning. In: Schüppstuhl, T., Tracht, K., Raatz, A. (eds) Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2021. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74032-0_13

Blank, A.; Zikeli, L.; Reitelshöfer, S.; Karlidag, E.; Franke, J. (2022). Augmented Virtuality Input Demonstration Refinement Improving Hybrid Manipulation Learning for Bin Picking. In: FAIM 2022 Proceedings Lecture Notes in Mechanical Engineering (Springer). VÖ Ausstehend

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	Förderkennzeichen: 15S9432
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Darmstadt	
Vorhabenbezeichnung: Forschungsarbeiten zur Entwicklung eines bildgebenden, zerstörungsfreien Analyse- und Deklarationsverfahrens, für radioaktive Abfallgebinde, basierend auf lasergetriebenen Neutronenquellen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 bis 30.09.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 477.148,65 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Markus Roth	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: markus.roth@physik.tu-darmstadt.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Für die Einlagerung radioaktiver Abfälle in Endlagerstätten ist es notwendig, dass deren Inhalt sowohl radiologisch, stofflich als auch strukturell charakterisiert wird. Während radiologische Komponenten durch deren charakteristische Emission von Gamma-Strahlung bestimmt werden können, existiert bisher kein zerstörungsfreies Verfahren, um die Zusammensetzung und die interne räumliche Struktur von Abfallgebinden zu bestimmen.

Zielsetzung dieses Vorhabens ist es daher, ein bildgebendes Analyse- und Deklarationsverfahren für Abfallgebinde auf der Basis von schneller Neutronen-Radiographie zu entwickeln. Während die grundlegende Funktionalität dieser Methode bereits im Rahmen des Forschungsverbundprojekts NISRA mithilfe eines Neutronengenerators bestätigt wurde, konzentriert sich dieses Vorhaben auf die Verwendung lasergetriebener Neutronenquellen. Diese ebenfalls kompakten Quellen besitzen das Potential, drei bis vier Größenordnungen höhere mittlere Neutronenflüsse zu erzeugen. Zusammen mit der geringeren Quellgröße und den höheren Neutronenenergien ist außerdem eine Charakterisierung mit einer verbesserten räumlichen Auflösung und stark verkürzten Messzeiten zu erwarten. Mit dieser Methode wird eine Charakterisierung der Abfallgebinde am Ort der Endlagerstätte möglich.

Effiziente lasergetriebene Neutronenquellen basieren auf einem Zweistufenprozess. Im ersten Schritt werden Protonen oder auch schwere Wasserstoff Ionen (Deuteronen) durch die Wechselwirkung eines Femtosekunden-Laserpulses mit einem Target beschleunigt. Das Target Material ist typischerweise eine etwa ein Mikrometer dünne Folie für Experimente bei geringer Wiederholfrequenz; oder ein sogenanntes Liquid Leaf Target, welches als dünnes flüssiges Blatt die Eigenschaft hat sich am Ort der Wechselwirkung schnell zu regenerieren und daher auch für sehr hohe Frequenzen, d.h. quasi CW-Betrieb geeignet scheint. Die beschleunigten Deuteronen treffen im zweiten Schritt auf einen Konverter, zum Beispiel ein Zentimeter dicker Block aus Beryllium oder Lithiumfluorid, um dort durch Kernreaktionen einen gerichteten Neutronenstrahl zu erzeugen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Bez.	Entwicklung eines hochrepetitiven Targets
T-1	Einarbeitung in Themengebiet und Literaturrecherche
T-2	Anpassung des Jet-Design auf Laserenergien im J-Bereich
T-3	Bestellen und Aufbau der Komponenten
T-4	Überprüfung der Stabilität und Jet-Dicke an Luft
T-5	Aufbau und Betrieb innerhalb einer Vakuum-Kammer
T-6	Parameterstudien zur Stabilität und Vakuumlast
T-7	Implementierung eines Düsen-Schutzkonzeptes
T-8	Planung zur Anwendung innerhalb eines Experimentes
T-9	Beschleunigung von Ionen an einem hochrepetitiven Laser
T-10	Auswertung der Ergebnisse und Abschlussbericht
	Erzeugung schneller Neutronenpulse
N-1	Optimierung des Konverter- und Kollimator-Designs
N-2	Monte-Carlo Simulationen zur Experimentoptimierung
N-3	Experimentplanung
N-4	Vermessung des Einflusses der Laserparameter
N-5	Auswertung und Vergleich zu Simulationen
N-6	Erzeugung von Neutronen an Lasersystemen $\gg 10\text{Hz}$
	Detektorentwicklung zur Neutronenradiographie
D-1	Einarbeitung in Themengebiet und Literaturrecherche
D-2	Design, Auswahl und Beschaffung der Komponenten
D-3	Aufbau eines faserbasierten N- und X-Ray Detektors
D-4	Parasitäres Testen an Laserquellen auf EMP Verträglichkeit
D-5	Aufnahmen von Radiographien im Hz-Bereich
D-6	Automatisierung der Datenaufnahme und Auswertung
D-7	Kalibrierung an konventioneller Neutronenquelle
D-8	Experimentplanung an hochrepetitiver Laser-Quelle
D-9	Auswertung der Daten und Abschlussbericht
	Design kompakter Laser-Neutronen-Radiographie Anlage
R-1	Marktrecherche zu geeigneten Laser-Systemen
R-2	Rechnungen zu benötigter Strahlenabschirmung
R-3	Aufnahme eines 200l Gebinde Testobjektes
R-4	Berechnung der benötigten Neutronenflüsse
R-5	Erstellen eines Gesamtkonzeptes

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Obige Tabelle zeigt den Arbeitsplan aufgegliedert nach Teilprojekten. Obschon thematisch verbunden, können die Teilbereiche größtenteils unabhängig voneinander abgearbeitet werden. Während der ersten Monate des Jahres 2022 haben sich die Projektbearbeitenden weiter in das Themengebiet eingearbeitet (D-1), insbesondere mit Blick auf den Bereich der Detektorentwicklung für die Diagnostik schneller Neutronenpulse (N-1). Angebote für weitere Komponenten wurden eingeholt, geeignete Lieferanten gefunden, die unter den aktuell herausfordernden Weltmarktbedingungen in der Lage sind, zu liefern, sowie wesentliche Komponenten für den in Teilprojekt D zu fertigenden Detektor bestellt. Hier ist insbesondere

der „Bildverstärker“ zu erwähnen, welcher auch bereits geliefert wurde und bei einer weiteren parasitären Strahlzeit an NELBE bereits erfolgreich getestet werden konnte.

Das erstellte Konzept eines auf vielen, einzeln auslesbaren Photomultipliern beruhenden Detektors wurde umgesetzt, vorerst nur ein Teilaufbau getestet (D-3). Eine Kalibrierung an einer konventionellen Neutronenquelle (D-7) wurde unternommen, jedoch müssen die Daten noch ausgewertet werden, bevor eine erfolgreiche Durchführung bestätigt werden kann. Die vorläufige Auswertung lässt darauf schließen, dass diese Messung wiederholt werden sollte, ggf. mit verlängerter Messdauer um das Signal- zu Rauschverhältnis zu verbessern.

Bereits im Oktober und November 2021 wurde ein Experiment am CLPU in Salamanca durchgeführt, bei dem Protonen mit einem intensiven Laser beschleunigt wurden. Dies mit einem sogenannten „Liquid Leaf“ Target, welches für den Betrieb bei hoher Wiederholfrequenz geeignet ist (T-1). Teile der Elektronik konnten während dieses Experimentes bereits mit Blick auf EMP Verträglichkeit geprüft werden (D-4). U.a. wurden die Daten dieser Experimentreihe im ersten Halbjahr 2022 ausgewertet, eine Präsentation der Ergebnisse ist auf dem diesjährigen Target Fabrication Workshop in Oxford (UK) im September geplant. Ebenso im Nachgang die Veröffentlichung im „conference proceeding“.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Mit den bereits gelieferten Komponenten (32 Kanal ADC / 64 Kanal Photomultiplier / VME crate) wird in Zusammenarbeit mit der Elektronikwerkstatt des Instituts für Kernphysik das PFN (pulse forming network) verbessert. Der erste Aufbau wurde bereits für die ortsaufgelöste, schnelle Messung und Verarbeitung der Datensignale an der Neutronenquelle nELBE getestet. Da diese Ausleseeinheit dann mit einem Array aus szintillierenden Fasern verbunden werden wird, welche ihrerseits im Experiment durch Neutronen angeregt werden (D-2 / D-3), besteht die geplante Weiterarbeit in diesem Bereich aktuell darin, Fertigungstechniken zu entwickeln, mit denen aus Einzelfasern in einem semiautomatisierten Verfahren das Array aufgebaut werden kann. Im Detektor- und Targetlabor des Institut für Kernphysik, TUDa wurde in einem Testaufbau mit einem radioaktiven Substrat als Ersatzquelle die Eigenfunktion des Detektors bestimmt und dessen Funktionsweise getestet. Die Ergebnisse dieser Messungen gehen zusammen mit Simulationsrechnungen (N-2) in die Optimierung des Konverter- und Kollimator-Designs (N1) und in die allgemeine Experimentplanung (N-3) ein. Fortschritte gibt es auch mit Blick auf die Ansteuerung und effiziente Auslese der Daten aus dem ADC, jedoch sind hier noch weitere Tests und Programmierarbeit von Nöten, damit die Datenaufnahme, Verarbeitung und Auswertung bei radiographischen Messungen im Hz-Bereich (D-5) zu einem hohen Grad automatisiert (D6) erfolgen kann.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des LOEWE Schwerpunktes Nuclear Photonics am Institut für Kernphysik wurden bereits Vorarbeiten geleistet zur Entwicklung eines hochrepetitiven Targets, des sogenannten Liquid Leaf Targets (T-1). Die Zusammenarbeit wird weitergeführt. Die Laufzeit des LOEWE Programms wurde bis Ende September 2023 verlängert. Im Rahmen dieses FORKA Projektes sind keine Investitionsmittel vorgesehen mit denen ein neues Liquid Leaf Target aufgebaut werden könnte. Jedoch Sachmittel und insbesondere Personal (2/3 FTE) um das bestehende System hinsichtlich Stabilität im Vakuum-Betrieb bei hoher Wiederholfrequenz und signifikanter Laserenergie pro Puls zu optimieren (T-2). Dies ist notwendig und Teil des

Arbeitspaketes „Erzeugung schneller Neutronenpulse“ sowie des zusammenfassenden Arbeitspaketes „Design einer kompakten Laser- Neutronen Radiographie Anlage“.

Ebenso steht dieses Vorhaben in Bezug zu dem vom BMBF geförderten Projekt 05P19RDFA1 mit der Bezeichnung „Verbundforschungsantrag von Gruppen der Technischen Universität Darmstadt zum Aufbau und Forschung an FAIR // HED@FAIR.DA“. Unter anderem wurde dort ein neuartiger Detektor entwickelt und zum Patent angemeldet, welcher mit hoher Repetitionsrate die räumliche Verteilung von Protonen energieweise messen kann. Dieser Detektor wird aktuell mit Eigenmitteln unserer Arbeitsgruppe weiterentwickelt, ein zweiter Prototyp wird aktuell im Detektor- und Targetlabor des Institut für Kernphysik gebaut. Für die Optimierung des Konverter- und Kollimator-Designs (N-1) mit Blick auf die Konversionseffizienz von Protonen in Neutronen, ist die Charakterisierung des aus dem *Liquid Leaf* heraus mit intensiven Laserpulsen beschleunigten Protonenstrahls eine wesentliche Voraussetzung.

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Zimmer, M., *et al.* “Analysis of laser-proton acceleration experiments for development of empirical scaling laws.” *Physical Review E* 104.4 (2021): 045210.
- Hesse, M. *et al.* Spatially resolved online particle detector using scintillators for laser-driven particle sources. *Rev. Sci. Instruments* 9 (2021).
- Zimmer, M., *et al.* “ Demonstration of non-destructive and isotope-sensitive material analysis using a short-pulsed laser-driven epi-thermal neutron source.” *Nature Comm.* Accepted (2022)

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.6.2022	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.

AP2 (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) Die Analysen der Bodenmikrobiome zeigen eine im langfristigen Vergleich eine Störung durch das Einbringen der Rendzina, die interessant wäre für längerfristige, neue Untersuchungen. Die SM/R-Analysen der geernteten Biomassen zeigten erneut nur für die Gessenwiese auf mit Rendzina beaufschlagten Flächen eine Grenzwertüberschreitung lediglich in der Weide für Cd, am Kanigsberg wurden keine Grenzwerte für die Holzverwertung überschritten. Auch die Veränderung der Baum-Physiologie und damit SM/R-Inkorporation nach Wuchsänderung durch das auf-den-Stock-Setzen sollte eigentlich länger beobachtet werden. Der Besuch europäischer Vergleichstandorte war wegen fehlender langfristiger Planbarkeit nicht möglich und wird durch Auswertung veröffentlichter Daten ersetzt.

(AP 2) Während die Biomassen durch LIDAR-Messungen von Bäumen sehr gut vorhergesagt werden konnten, müssen dies Analysen für die neue, buschige Wachstumsform der wieder austreibenden Bäume weiterhin verfolgt werden. Die Vitalitätsmessungen durch Fluoreszenzmessungen zeigen einen Einfluss von SM/R, sind allerdings mit hoher Auflösung in Raum und Zeit durch individuelle und tagesaktuelle Schwankungen statistisch aufwändig in der Analyse. Dies sollte durch Datenaufzeichnungen in der Zukunft überprüft werden.

(AP 3) Reinkulturen von *Frankia* aus *Actinorhiza* konnten nach unerwartet langen Methodenanpassungen erhalten werden. Die Analysen wurden daher mit der Korrelation von freilebenden Stickstofffixierern mit den in Bodenwässern nachgewiesenen Stickstoffverbindungen näher analysiert. Wasserproben konnten weiterhin gewonnen und analysiert werden.

(AP 4) Die Analysen des Transfers von SM/R im System Wasser-Boden-Pflanze wurden weitergeführt und Partikelgrößen auf ihren Einfluss auf reaktiven Transport hin untersucht.

(AP 5) Neben der Charakterisierung der Mykorrhiza im Feld konnte eine Korrelation von Baumart, Mykorrhizapilz und Bodenmikrobiom gezeigt werden. Neben Standortfaktoren hat damit auch der Pilz einen dezidierten Einfluss auf die vorkommenden Bakterienarten. Der Transport von SM/R durch Pilzhypphen konnte gezeigt und damit die Modulation des Eintrags in den Baum untermauert werden.

(AP 6) Die Krautschicht konnte weiter kartiert und in die Analysen einbezogen werden.

4. Geplante Weiterarbeit

In der Zeit der kostenneutralen Projektverlängerung werden die Arbeiten weiter und zum Abschluss geführt und Publikationen sowie Abschlussarbeiten vorbereitet.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Abdulsalam O, Ueberschaar N, Krause K, Kothe E. 2022. Geosmin synthase *ges1* knock-down by siRNA in the dikaryotic fungus *Tricholoma vaccinum*. *J Basic Microbiol* 62, 109-115.
- Brangsch H, Höller M, Krauß T, Waqas M, Schroeckh V, Brakhage AA, Bunk B, Spröer C, Overmann J, Kothe E. 2022. Extremophile metal resistance: plasmid-encoded functions in *Streptomyces mirabilis*. *Appl Environ Microbiol* 88, e0008522.
- Costa FS, Langenhorst F, Kothe E. Biomineralization of nickel struvite linked to metal resistance in *Streptomyces mirabilis*. *Molecules* 27, 3061.
- Ezediokpu MN, Krause K, Kunert M, Hoffmeister D, Boland W, Kothe E. 2022. Ectomycorrhizal Influence on the dynamics of sesquiterpene release by *Tricholoma vaccinum*. *J Fungi* 8, 555.
- Herold M. 2022. Physikochemische Charakterisierung von Bodenproben auf dem Testfeld Gessenwiese (Ronneburg, Thüringen) - Methodischer Vergleich zur Mobilität ausgewählter Schwermetalle. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Kienle L. 2022. Isolation of ectomycorrhizal fungi and investigation of their nitrogen metabolism. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Majhi AK. 2022. Investigation of hydrophobins in the ectomycorrhizal fungus *Tricholoma vaccinum*. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Nettemann S, Mirgorodsky D, Kothe E, Schäfer T. 2022. Trace metals associated with organic colloids in AMD-influenced groundwater. 28. Tagung der Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der DGGV e.V., 23. – 25. März 2022.
- Traxler L, Shrestha J, Richter M, Krause K, Schäfer T, Kothe E. 2022. Metal adaptation and transport in hyphae of the wood-rot fungus *Schizophyllum commune*. *J Hazard Mater* 425, 127978.
- Wiemuth, P. 2022. Charakterisierung organischer und anorganischer Kolloide in der Rhizosphäre von Erlen in einer Kurzumtriebsplantage im ehemaligen Uran-Bergbauegebiet Ronneburg, Bachelorarbeit FSU Jena.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 31.12.2022	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 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). 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 bereits implementierte Konzept der kumulativen Ressourcen (AP 7.4) generalisiert, sodass es zur Modellierung beliebiger Stoffströme herangezogen werden kann. Zuvor war es lediglich möglich, divergierende Stoffströme zu modellieren, welche typischerweise bei Rückbauprojekten beobachtet werden. Mit der nun abgeschlossenen Generalisierung können auch Situationen abgebildet werden, in denen Stoffe zusammenfließen und als neue Einheit weiterbearbeitet werden. Damit erweitert sich die Einsatzfähigkeit des NukPlaRStoR-Planungswerkzeugs sowohl im kerntechnischen Rückbau als auch für darüber hinausgehende Anwendungsfälle.

Parallel dazu hat das KIT erste Tests mit Praxisdaten aus einem kerntechnischen Rückbauprojekt in Deutschland durchgeführt. Der zentrale Bestandteil dieser Praxisdaten ist einer Liste zeitlich verknüpfter Demontevorgänge mit zugehörigen Demontagemassen. Die Demontagemassen sind nach Massearten untergliedert. Für jede Masseart ist die geschätzte durchschnittliche Verarbeitungsleistung des Reststoffbearbeitungszentrums gegeben. Das NukPlaRStoR-Planungswerkzeug ist mit diesen Daten in der Lage, eine Prognose für den zeitlichen Verlauf der Auslastung des Reststoffverarbeitungszentrums und der Pufferlagerbestände zu berechnen. Damit ist der Nachweis erbracht, dass die für das Planungswerkzeug getroffenen Grundannahmen hinsichtlich des Modells und der Datenstruktur mit der Realität in Einklang stehen.

Zudem hat das KIT das Modell zur räumlichen Planung weiterentwickelt (AP6 Weiterentwicklung Logistik). Das auf dem Construction Site Layout Problems (CSLP) basierende Modell wurde wie geplant in verschiedenen Punkten ausgebaut und generalisiert. Während vorher jedem Raum genau ein Knoten zugeordnet wurde, erlaubt es die neue Raumstruktur, große Räume (z. B. Hallen) in mehrere Bereiche aufzuteilen. Damit können nun mehrere Tätigkeiten in verschiedenen Bereichen einer Halle unabhängig voneinander modelliert werden. Zudem wurde das Modell um neue, dynamische Kostenfaktoren erweitert. Diese erlauben es, den Aufwand von Sicherheitsmaßnahmen nicht nur statisch, sondern auch in Abhängigkeit anderer Tätigkeiten im selben Raum/Bereich abzubilden. Insgesamt wurden alle Veränderungen, sowie weitere modellbedingte Anpassungen an den mathematischen Formulierungen vorhandener Elemente, in einem neu erschaffenen Grundmodell zusammengefasst. Das neue Grundmodell trägt den Titel *Indoor Construction Site Layout Problem (I-CSLP)* und wurde als Python-Programm umgesetzt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im kommenden Berichtszeitraum sieht das KIT vor, die durchgeführten Tests mit Praxisdaten zu vertiefen. Dabei soll anhand weiterer Demonstrationsrechnungen gezeigt werden, dass das NukPlaRStoR-Planungswerkzeug auch Vorschläge für zeitliche Verschiebungen der Demontagevorgänge ausgeben kann, sodass Auslastungsspitzen im Reststoffverarbeitungszentrum und in den Pufferlagern reduziert werden. Das dem Planungswerkzeug zugrundeliegende mathematische Optimierungsverfahren soll dabei sicherstellen, dass primär solche zeitlichen Verschiebungen vorgeschlagen werden, die nicht zu einer Verlängerung des Gesamtprojekts führen.

Aufbauend auf dem neuen I-CSLP Grundmodell plant das KIT, dieses weiter auszubauen. In Abhängigkeit von den verfügbaren Daten sollen neue Module für das Grundmodell erschaffen werden. Ein Modul soll dabei zum Ausbau der dynamischen Raumstrukturen dienen. Aktuell ist das Layout der nuklearen Anlage über den gesamten Zeithorizont statisch vorgegeben. In der Praxis kann sich allerdings die Raumstruktur während des Rückbauprozesses verändern, da neue Flächen durch das Abbauen der darauf stehenden Maschinen frei werden und damit später folgenden Prozessen als neue Transport- und Lagerflächen zur Verfügung stehen. Ein weiteres Modul soll die Einbindung von Prozessketten ermöglichen. Dies soll dazu dienen, mehrstufige Verarbeitungsketten in das Modell zu integrieren.

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

Das KIT hat das NukPlaRStoR-Planungswerkzeug im Rahmen der anwendernahen Fachkonferenz „ACI Nuclear Decommissioning and Waste Management Summit“ (23. bis 24.02.2022 in London; gemeinsam mit dem Projektpartner RODIAS) vorgestellt.

Das für das NukPlaRStoR-Planungswerkzeug entwickelte mathematische Optimierungsmodell und -verfahren wurde im Berichtszeitraum zur Publikation in der wissenschaftlichen Fachzeitschrift *European Journal of Operational Research* akzeptiert. Der entsprechende Artikel mit dem Titel „On the integration of diverging material flows into resource-constrained project scheduling“ ist unter <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.03.047> abrufbar.

Der für die letztjährige OR2021-Konferenz erstellte Beitrag zum Konferenzband wurde ebenfalls akzeptiert und befindet sich im Veröffentlichungsprozess.

Das entwickelte Indoor Construction Site Layout Problem (I-CSLP) wurde im Berichtszeitraum zur Publikation in der wissenschaftlichen Fachzeitschrift *Journal of Operations Management* eingereicht.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 31.12.2022	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). 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 Berichtszeitraum die folgenden durch das KIT im Rahmen der wissenschaftlichen Arbeit bereitgestellten Erweiterungen in die Benutzeroberfläche des Planungswerkzeugs OPTIRA integriert:

- Zeitbeziehungen zwischen Vorgängen
- Kostenoptimierung bei vorgegebener Projektlaufzeit
- Präferierte Startzeiten

Die Erweiterungen sind im aktuellen OPTIRA Release 1.4 enthalten.

Es wurde gemeinsam beschlossen, dass die wissenschaftlichen Ergebnisse des AP 7.2 (Orte der Vorgangsausführung inkl. Expositionszeiten) nicht in die Benutzeroberfläche des OPTIRA eingearbeitet werden, da hierfür keine kommerzielle Nutzung absehbar ist. Da das mathematische Modell die hierfür benötigten Konzepte jedoch grundsätzlich bereitstellt, wäre eine nachträgliche Erweiterung der Benutzeroberfläche möglich.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

RODIAS plant die im Planungswerkzeug des KIT neu implementierte Umstellung von divergierenden zu zusammenfließenden Stoffströmen bis zum Abschluss des Projektes in die Benutzeroberfläche des OPTIRA einzubauen.

Erste Rückflüsse aus der Praxis haben gezeigt, dass es sinnvoll ist, das OPTIRA in ein bereits bestehendes Rückbauplanungstool der RODIAS zu integrieren. Diese Arbeiten werden voraussichtlich im 2. Halbjahr 2022 im Rahmen eines Prototyps umgesetzt.

Es ist weiterhin geplant eine Multiprojektoptimierung, also eine Optimierung unter Einbeziehung mehrerer (Teil-)Projekte mit projektübergreifenden Ressourcen, in die Benutzeroberfläche des OPTIRA zu integrieren.

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 im Verbundvorhaben entwickelte Planungswerkzeug in 2021 vom KIT lizenziert und das daraus hervorgegangene Softwareprodukt „OPTIRA“ in 2022 im Rahmen der im Folgenden genannten anwendernahen Fachkonferenzen vorgestellt:

- ACI Nuclear Decommissioning and Waste Management Summit (23.-24.02.2022 London; gemeinsam mit dem KIT)
- Kerntechnik (21.-21.06.2022 Leipzig)

Das für das NukPlaRStoR-Planungswerkzeug entwickelte mathematische Optimierungsmodell und -verfahren wurde im Berichtszeitraum zur Publikation in der wissenschaftlichen Fachzeitschrift European Journal of Operational Research akzeptiert. Der entsprechende Artikel mit dem Titel „On the integration of diverging material flows into resource-constrained project scheduling“ ist unter <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.03.047> abrufbar.

Der für die letztjährige OR2021-Konferenz erstellte Beitrag zum Konferenzband wurde ebenfalls akzeptiert und befindet sich im Veröffentlichungsprozess.

Das entwickelte Indoor Construction Site Layout Problem (I-CSLP) wurde im Berichtszeitraum zur Publikation in der wissenschaftlichen Fachzeitschrift Journal of Operations Management eingereicht.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 zentrale 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 wo 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 bereits existierende sicherheitsrelevante Aspekte 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:

2. Erzeugung einer nutzbaren Datenbasis
3. Entwicklung eines Algorithmus zur Identifikation sinnvoller und für den Rückbau relevanter Kompetenzcluster
4. 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 Arbeitsprogrammunkten)

Meilensteinplanung: Administration

Am 15. Februar 2022 fand eine Projektbesprechung statt. Teilgenommen haben Vertreter des Transformationsteams der RWE Nuclear GmbH, das seit Herbst 2021 als zentraler Ansprechpartner für das KernTrafo Projekt gilt, und Vertreter aller Projektkomponenten des KernTrafo-Teams. In diesem Termin fand ein offener Austausch über Inhalte und Ziele des Forschungsprojekts KernTrafo und die Projekte des Transformationsteams der RWE Nuclear GmbH statt. Darüber hinaus wurde die weitere Koordination der gemeinsamen Aktivitäten durchgeführt. Am 9. März fand ein weiterer Termin zwischen dem Transformationsteam und dem KernTrafo-Team statt mit dem Ziel, den aktuellen Stand abzugleichen und alle offenen Fragen zu geplanten Modulen zu klären.

Komponente 1: KI-basierte Kompetenzmodellierung

In den vergangenen 6 Monaten war das Ziel, in Komponente 1 die Erkenntnisse der in Gündremmingen durchgeführten Datenaufnahmen und anschließenden Person-to-Job Matchings über maschinelle Lernverfahren zu verbessern. Es wurde untersucht, wie die Datenbasis effektiv erweitert, bereinigt und aufbereitet werden kann, um anschließend intelligente Deep Learning-Verfahren zur Ergebnisfusion trainieren und einsetzen zu können.

Erweiterung Datenbasis und Modellfusion für Matchings

Aufbau einer Datenerfassungspipeline für ein Softwaremodul zur Stellenklassifizierung: Aufgrund der Einzigartigkeit der Problemstellung gibt es für dieses Klassifizierungsproblem aus dem Bereich des maschinellen Lernens weltweit keine zentral verfügbaren öffentlichen Datensätze von Stellenausschreibungen, insb. im Bereich der Kernenergie. Dies führt zu der Frage, wie eine automatische Datenerfassungspipeline effizient implementiert werden kann.

Es ergeben sich prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Implementierung der Datenerfassung:

1. Erstellen eines Web Scrapers
2. Erstellen einer Website für Stellenausschreibungen

Ein Web Scraper ist ein Bot, der innerhalb des Forschungsprojektes entwickelt wurde, um gezielt und automatisiert Daten von Webseiten extrahieren zu können. Um Stellenausschreibungsdaten zu sammeln, müssen zunächst die beliebtesten und vertrauenswürdigsten Stellenausschreibungs-Websites kuratiert werden. Dies hilft beim einfachen Extrahieren von Daten aus den Websites mit dem Ziel, eine bereinigte Datenbank zu erstellen. Die Google-Suche für Stellenausschreibungen kann in diesem Kontext herangezogen werden, um Stellenangebote zu extrahieren, die an einem bestimmten Ort

ausgeschrieben sind. Sie listet Jobs auf, die auf Stellenausschreibungs-Websites veröffentlicht werden. Facebook-Jobposts werden hierbei ebenfalls berücksichtigt.

Aufgrund der rechtlichen Grauzone im Zusammenhang mit der Verwendung von Bots zum Scrapen von Websites (Verletzung der Privatsphäre, illegale Datenerfassung usw.) besteht die beste Methode zum kontinuierlichen Scrapen einer großen Datenquelle, die ständig aktualisiert wird, häufig darin, mit den Eigentümern der Website zusammenzuarbeiten, um entweder Zugriff auf eine API (die anzudockenden Schnittstellen) zum Scrapen ihrer Websites zu erhalten oder um sich die ggf. notwendige Einwilligung zum Scrapen der Daten einzuholen. Der hierbei akkumulierte Datensatz besteht aus >350.000 verschiedenen Stellenbeschreibungen, die von Online-Stellensuchseiten gesammelt wurden. Wir haben die Daten mit 89 verschiedenen Arten verwandter Jobs beschriftet. Diese Kategorien beziehen sich hauptsächlich auf Rollen, die typischerweise in der heutigen datengesteuerten Wirtschaft zu finden sind. Der Datensatz ist im Wesentlichen ausgewogen gewählt, da es galt, eine Imbalance hinsichtlich unterschiedlicher Jobgruppen zu vermeiden, um eine Voreingenommenheit des machine learning-Modells zu minimieren. Es gibt jedoch viele überlappende Informationen zwischen den Beschreibungen dieser Jobs für ähnliche Berufsbezeichnungen, wodurch die Klassen intrinsisch korrelieren. Dies stellt eine Herausforderung für das Modell dar, zwischen sehr ähnlichen Berufsbezeichnungen mit ähnlichen Stellenbeschreibungen und erforderlichen Fähigkeiten zu unterscheiden. Diese Mehrdeutigkeit kann überwunden werden, indem sehr ähnliche Berufsbezeichnungen zu übergreifenden Berufsklassen zusammengefasst werden. Es wurden zudem Methoden des Data Engineering herangezogen, um optimale Merkmale der Datensätze zu generieren, mittels derer die Modelle daraufhin getestet werden konnten.

Verbesserung der Machine Learning Modelle zur Ergebnisfusion:

In unserer Forschungsarbeit (die auf einer Data Science Konferenz zeitnah veröffentlicht wird) teilen wir den Datensatz nach dem Zufallsprinzip in drei verschiedene Sätze auf, darunter 10 % für den Testsatz und 90 % für den Trainingsatz. Im Trainingsset verwenden wir 20% der Daten für das Validierungsset. Wir verwenden vier verschiedene Metriken, um unsere Modelle zu bewerten, z. B. Genauigkeit. Wir haben hierbei eine Reihe von Experimenten durchgeführt.

Das Ergebnis des besten Modells erreicht eine Genauigkeit von 89,40 % bei der Vorhersage von passenden Jobs. Weitere Experimente mit alternativen Machine Learning Ansätzen liefern ebenfalls beeindruckende Ergebnisse mit ungefähren Treffergenauigkeiten von ca. 88,38%. Die beste KI-Architektur auf diesem Problemdatensatz war eine Kombination von modernen deep learning-Methoden (LSTM + CNN). Ebenfalls verfolgt wurden moderne Ansätze aus diesem Umfeld, die vortrainierte, etablierte Wortmodelle (sog. Word Embeddings) wie bspw. Glove und FastText in Kombination mit dem deep learning Ansatz des AttCNN-Modells verwenden und zu ähnlichen Trefferquoten führen. Weiter durchgeführte Experimente mit unserem vorgeschlagenen Ensemble-Modell (eine Kombination verschiedener 'Entscheider-Modelle') ergaben, dass die Ensemble-Methode die besten Ergebnisse lieferte und höher in Puncto Präzision war als singuläre Ansätze. Es ist ersichtlich, dass das Ensemble-Verfahren in allen Metriken stabile Ergebnisse liefert.

Komponente 2: Paradoxe Führungsstile

Vorstellung Diagnostik zur Führungskultur

Die kumulierten Ergebnisse der Diagnostik zur Führungskultur (Selbst- und Fremdbild) wurden dem an der Befragung teilgenommenen Management im ersten Schritt am 15. Februar 2022 in Biblis vorgestellt. Dabei gab es sowohl einen kurzen Input zu Paradoxien in der Führung als auch eine Einführung in die quantitative Führungsdiagnostik und Charisma. Anschließend wurden die aggregierten Ergebnisse der Diagnostik vorgestellt und es folgte eine offene Diskussion mit der Möglichkeit, Fragen zu stellen.

Nach der Erstellung und Aufbereitung der aggregierten Ergebnisse wurden vom Team KernTrafo die Einzelergebnisse der teilnehmenden Führungskräfte (Selbst- und ggfs. Fremdbild) erstellt und in eine individuell angepasste Diagnostik gegossen. 24 Führungskräfte erhielten eine Selbsteinschätzung. Unter Beachtung der Anonymitätsgrenze von mind. fünf Antworten pro Führungskraft konnten insgesamt elf Fremdbilder für die 26 teilnehmenden Führungskräfte erstellt werden. Anfang März wurden die Einzelfeedbacks anonymisiert an eine Mitarbeiterin von RWE verschickt, die diese wiederum an die entsprechenden Führungskräfte weiterleitete. Am 7. März 2022 folgte schließlich für alle teilnehmenden Führungskräfte ein Online-Meeting, in dem die Einzelführungsdiagnostik anhand eines fiktiven Beispiels vorgestellt wurde. Ziel dieses Online-Meetings war es, zu verdeutlichen, wie die Diagnostik zu lesen und zu interpretieren ist. Außerdem konnten die Führungskräfte erste Fragen stellen. Für Führungskräfte, die an diesem Termin verhindert waren, führte das Team KernTrafo einen Ersatztermin für die Ergebnisinterpretation der Einzelergebnisse am 08. April 2022 durch. Nach der allgemeinen Darstellung der Diagnostik bot KernTrafo den Führungskräften individuelle Diagnostikgespräche an. Diese wurden vom 09. - 11. März 2022 in Biblis durchgeführt. Hierbei erhielten die Führungskräfte individuelle Termine (1,5 Std.) zur Besprechung ihrer persönlichen Ergebnisse. Ziel dieser Gespräche war die Klärung von individuellen Fragen, Unterstützung bei konkreten Ergebnisinterpretationen und wie ein möglicher Praxistransfer in die Führungsarbeit konkret aussehen könnte.

Trainings Paradoxe Führung

Die Führungskräfte-Module "Flexibilisierende Führung" und "Persönlichkeit" wurden nach den Absprachen mit dem Transformationsteam der RWE Nuclear GmbH entsprechend der Gesamtplanung angepasst. Das zweitägige Modul "Flexibilisierende Führung" wurde sowohl am 6. - 7. April als auch am 26. - 27. April 2022 am Standort Biblis durchgeführt und ist damit an diesem Standort abgeschlossen. Außerdem folgte Ende Juni 2022 die erste von zwei Durchführungen des zweitägigen Moduls "Persönlichkeit" in Biblis.

Nach Absprache mit dem Personalmanagement vom Standort Gundremmingen wurde das Modul 1 "Flexibilisierende Führung" außerdem für den Standort Gundremmingen geplant und konzeptionell angepasst. Es wurden 2x 2-tägige Trainings für den Oktober 2022 vereinbart. Die Durchführung des Moduls 2 "Persönlichkeit" ist in Gundremmingen für 12/2022 bzw. 01/2023 geplant.

Das Modul "Charisma" ist in Planung.

Komponente 3: Job Crafting

Nachdem die Inhalte der Job Crafting Workshops dem neuen Transformationsteam RWE Nuclear GmbH in der 2. Hälfte 2021 vorgestellt wurden, wurde dieses Training mit dem Fokus "Team" erst einmal verschoben, aber seine Inhalte begrüßt. Laut Informationen seitens des

Transformationsteams der RWE Nuclear GmbH liefen im Juli 2022 intern Gespräche mit dem Verantwortlichen über mögliche Inhalte.

Train-the-Trainer

Ein Training zum Modul 1 “Flexibilisierende Führung” in Biblis wurde von einem potentiellen internen Trainer beobachtet, mit dem auch weiterhin ein intensiver Austausch stattfindet.

Doktorandenseminar zur Rückbauforschung

Im Zeitraum vom 23. - 25. Mai 2022 fand das Doktorandenseminar zur Rückbauforschung in Berlin statt, das vom KernTrafo-Team besucht wurde. In diesem Rahmen wurden sowohl eigene Forschungsprojekte als auch das Gesamtprojekt KernTrafo präsentiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Komponente 1:

Die Kernkomponente der Skill-Software ist, dass das Empfehlungs-Framework die Fähigkeiten der Personen in der RWE Nuclear-Datenbank aufnimmt und ihnen die Jobs vorschlägt, deren Beschreibungen am besten zu ihren Profilen passen. Es verbindet folglich die Kandidaten mit den Stellenangeboten für die Beschäftigung über das Empfehlungssystem. Dieser Ansatz spart viel Zeit, indem Job-Aspiranten den richtigen Stellenangeboten zugeordnet werden und eröffnet durch die neutrale Betrachtungsweise in der Transformation neue Job-Perspektiven in möglichen neuen Bereichen, an die die Beteiligten nicht gedacht haben. In der heutigen Gesellschaft sind riesige Mengen an Daten im Internet zugänglich. Damit haben Einzelpersonen viele Möglichkeiten, denen sie folgen können. In diesem Sinne besteht ein Bedarf an einem legitimen Rahmen, der den Einzelnen dabei hilft, zwischen den relevanten Gegenständen bzw. Inhalten zu unterscheiden und, je nach Bedarf, Entscheidungen zu treffen. Das Empfehlungssystem übernimmt hier eine unverzichtbare Rolle, um die neuen Artikel bzw. die relevanten Elemente zu finden. Im Einzelnen schlägt es die Elemente vor, die die höchste Genauigkeit bzgl. einer Zuordnung von Person-to-Job aufweisen.

Ziel ist es, zunächst den am besten geeigneten Datensatz für das Training unseres Modells zu identifizieren und auszuwählen, um Benutzer bei ihrer Suche nach dem am besten geeigneten Job zu unterstützen. Dazu müssen Vorverarbeitungsmethoden zur Bereinigung der Daten entwickelt werden - die Daten werden zuverlässiger und können dem Modell für das Training zugeführt werden. Anschließend muss ermittelt werden, welcher Algorithmus für das Problem am besten geeignet ist. Es könnte entweder ein klassischer maschineller Lernansatz (N-Gramm-Markov-Kettenmodelle) oder ein Deep-Learning-Ansatz (RNN1 mit LSTM2, RNN mit GRU3, Transformer-Modelle) verwendet werden. Darüber hinaus wird an der Kombination alternativer Datenquellen (wie z.B. Ontologie-Datenbanken zur Abbildung von Hierarchien) mit den Bestandsdaten geforscht. Sind diese verlässlich, gesäubert und vorverarbeitet, können sie zum Training hinzugezogen werden, sodass mit verbesserten Trefferquoten zu rechnen ist.

Weiterhin ist geplant, die Software nach dem ersten Praxiseinsatz so zu erweitern, dass sie den Anforderungen unterschiedlicher Benutzergruppen der RWE Nuclear GmbH gerecht wird. Ein Fokuspunkt liegt darin, einen barrierefreien Zugang, zum Beispiel für Farbenblinde oder anders sehbehinderte Menschen, zu ermöglichen, wie auch auf der Verbesserung der Usability und User Experience - vor allem für IT-ferne Zielgruppen. Um dies zu erreichen, investiert KernTrafo in die Überarbeitung des User Interfaces.

Komponente 2:

Trainings Paradoxe Führung

Da die zweite Durchführung des 2-tägigen Moduls “Persönlichkeit” in Biblis noch aussteht, wurde sie nun für den Zeitraum vom 15. - 16. September 2022 eingeplant.

Das Modul “Flexibilisierende Führung” in Gundremmingen ist für den Zeitraum vom 04. - 07. Oktober 2022 eingeplant. Es wird innerhalb von 4 Tagen zweimal durchgeführt, um allen Führungskräften die Möglichkeit zur Teilnahme zu bieten.

Die Terminabsprache bezüglich des Moduls “Persönlichkeit” in Gundremmingen läuft.

Das Modul “Charisma” soll, entsprechend der Projektplanung, als letztes Modul standortübergreifend durchgeführt werden. Das Team KernTrafo sah, dass die ursprüngliche Charisma-Studie unter den bestehenden Rahmenbedingungen nur schwer durchführbar ist. Deswegen wurde das Forschungsprojekt dahingehend angepasst, dass es sowohl wissenschaftlich fundiert als auch praxisnah durchführbar ist. Zur Unterstützung der Genehmigungsprozesse erstellte das KernTrafo-Team Unterlagen als Entscheidungsgrundlage für den Gesamtbetriebsrat der RWE Nuclear GmbH. Die Unterlagen wurden dem Transformationsteam der RWE Nuclear GmbH für die nächste Sitzung des Gesamtbetriebsrats übergeben, die Ende August 2022 stattfinden wird. Das Transformationsteam der RWE Nuclear GmbH nimmt in diesem Modul eine vermittelnde Rolle zwischen Team KernTrafo und den Probanden der Studie ein. Der genaue Zeitraum der Durchführung ist noch unklar.

Train-the-Trainer

Im Anschluss an die Durchführung der Module “Flexibilisierende Führung” und “Persönlichkeit” wurden von dem KernTrafo-Team ausführliche Trainerleitfäden erstellt. Diese werden in den kommenden Monaten nach jeder Trainingsdurchführung iteriert und am Projektende sowohl der RWE Nuclear GmbH übergeben als auch unter einer “CC BY 3.0 DE”-Lizenz veröffentlicht. Das Trainerhandbuch zum Modul Charisma wird im Anschluss an die Durchführung erstellt.

Komponente 3:

Die Standorte Biblis und Gundremmingen haben im Juli 2022 Bedarf an der Komponente 3 angemeldet. Aktuell läuft eine interne Abstimmung innerhalb der RWE Nuclear GmbH zur Planung der Durchführung.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

KI-Komponente

Ausgehend von unseren Forschungsergebnissen konnten wir unser leistungsstärkstes Modell implementieren, um einige Anwendungen zu erstellen, z. B. Anwendungen zur Jobvorhersage auf der Grundlage von Beschreibungen von Benutzerkenntnissen und -fähigkeiten und die Anwendung zum Filtern von Lebensläufen von Kandidaten, die für Stellenausschreibungen geeignet sind. Wir konnten die Leistung unseres Tools basierend auf diesen Ergebnissen verbessern.

Wir streben an, den Stand unserer Ergebnisse unter dem Titel "Person-job-fit prediction with deep neural network models based on various pre-trained models" auf der bevorstehenden Konferenz in Trento vorzustellen (ICNLSP 2022 5th International Conference on Natural Language and Speech Processing University of Trento, Deadline 30. August 2022). Die Präsentation wird von unserem Data Science Team (Yasser Saeid, Felix Neubürger, Viktor Wolf, Monica Krishnamoorthy, Thomas Kopinski) ausgearbeitet und gehalten.

Paradoxe Führung: Artikel zu Mediationen von Charisma auf Leistung

Charisma Experimente im Labor

Da die online durchgeführte Pilotstudie nicht zu signifikanten Ergebnissen führte (s. Angaben zu Laborstudien im letzten Bericht), wurde die Studie nun in Präsenz durchgeführt.

Aktivitäten:

- Umwandlung der Pilotstudie in ein Präsenzformat
- Materialerstellung für die Vermarktung der Studie (Poster, Flyer, Video für Social Media)
- Besuch von Lehrveranstaltungen der FH SWF in Meschede zur Vorstellung der Studie und zur Akquise von Studienteilnehmenden
- Durchführung der Experimente in Präsenz in den Räumlichkeiten der FH SWF Meschede im Zeitraum vom 14. - 24. Juni 2022 mit insgesamt 60 Studienteilnehmer:innen
- Vorläufige Ergebnisauswertung

Die erste Auswertung der Ergebnisse ist vielversprechend. Da noch eine große Anzahl von Versuchspersonen für die Pilotstudie fehlt und zwei große Studien noch ausstehen, wird der Artikel vermutlich erst in Q1 2023 im Journal "The Leadership Quarterly" eingereicht.

Paradoxe Führung: Präsentation Charisma-Forschung auf der GDP-Konferenz

Der für den 52. DGP-Kongress in Hildesheim eingereichte Poster-Beitrag über die o.g. Charisma-Experimente wurde akzeptiert, sodass das Poster Mitte September 2022 auf dem DGP-Kongress vorgestellt wird. Geplant ist, das methodische Vorgehen der Charisma-Experimente zu schildern und ggf. erste Ergebnisse vorzustellen.

Paradoxe Führung: (Un-)Sinn von Purpose

Eine erste Literaturanalyse zum Thema Purpose als schließendem Mechanismus der Paradoxen Führung wurde erfolgreich veröffentlicht:

Krögl, S. (2022). *Der (Un)Sinn von Purpose: Theoriebasierte Ansätze zur Gestaltung von sinnhaftem Handeln in Unternehmen. Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), 53(2), 251–259.*
<https://doi.org/10.1007/s11612-022-00628-7>

Paradoxe Führung: Eine Rezension zu *Think Again* von Adam M. Grant

Es wurde eine Rezension zum Buch *Think Again* von Adam M. Grant geschrieben. Der Autor erörtert, wie die eigene mentale Flexibilität entwickelt und die Gesellschaft zum flexiblen Denken aktiviert werden kann. Der Buchinhalt und die hierzu verfasste Rezension geben Einblicke in das Themenfeld der mentalen Flexibilität und können somit der Paradoxen Führung zugeordnet werden. Die Rezension wurde erfolgreich veröffentlicht:

Seif el Dahan, C. (2022). Rezension zu: Grant, Adam M. (2021). Think Again. The Power of Knowing What You Don't Know. *Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO)*, 53(2), 265–266. <https://doi.org/10.1007/s11612-022-00634-9>

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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 (RUB), der Gesellschaft für Simulatorschulung (GfS) und PreussenElektra (PEL) 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:
 - AP1: Interviews mit ca. 20 Führungskräften von PEL mit Rückbauerfahrung (Thema: Veränderung der Rolle von Führungskräften und allgemeine Mensch-Technik-Organisation Aspekte)
 - AP2: Interviews mit 20-30 Mitarbeiter/innen sowie der Personalvertretung von PEL, die den Transitionsprozess erlebt haben (Thema: Veränderung der Mitarbeiter/innen-Rolle und allgemeine Mensch-Technik-Organisation Aspekte)
 - AP3: Auswertung schriftlicher Dokumente (Unfallberichte, Incident Alerts) aus dem Bereich Arbeitsschutz von PEL sowie meldepflichtige Ereignisse
- 2) Zielgruppen- und zukunftsorientierte Maßnahmengestaltung
 - AP4: Ableitung von Trainingszielen und -szenarien in Bezug auf Wissen, Fertigkeiten und Einstellungen der Mitarbeiter/innen und Führungskräfte für die unterschiedlichen Rückbauphasen
 - AP5: Operationalisierung der Trainingsziele und erste Skizzierung der technischen und nicht-technischen Anforderungen an die digitalen Lernumgebungen
 - AP6: Auswahl und Festlegung von Trainingsmethoden (Virtual Reality via Head Mounted Display, Tablet-basiert oder Monitordarstellung) und Trainingsmedien sowie Ausarbeitung der Trainingsunterlagen.
 - AP7: 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
 - AP8: Pilotdurchführung der entwickelten seminar-basierten Trainingsmaßnahmen für die Mitarbeiter/innen der PEL, ergänzt durch multimodale Mixed Reality Anwendungen inkl. der Microlearning-Module zur Transfersicherung
 - AP9: Pilotdurchführung der seminar-basierten Trainingsmaßnahmen für die Führungskräfte der PEL, ergänzt durch multimodale Mixed Reality Anwendungen inkl. der Microlearning-Module zur Transfersicherung
- 4) Maßnahmenevaluation und Bewertung der Wirksamkeit
 - AP10: 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
 - AP11: Verbreitung der Ergebnisse auf Konferenzen und Kongressen

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

Im Berichtszeitraum wurde die Transkription der 50 geführten Interviews (26 Führungskräfte, 24 Mitarbeitende, Dauer zwischen 60 – 150 Minuten, Transkriptlänge zwischen 10.000-17.000 Wörter/ Transkript) abgeschlossen. Weiterhin wurde die Auswertung der Transkripte abgeschlossen (Zusammenfassung und Paraphrasierung). Basierend auf den so generierten Ergebnissen wurden abschließende Trainingsziele abgeleitet (AP4). Die Auswertung sowie die entsprechenden Ergebnisse wurden auf 51 Seiten in einem internen Ergebnisbericht dargelegt, welcher allen Projektpartner*innen zur Verfügung gestellt und im Rahmen eines virtuellen Jour Fixe vorgestellt wurde. Die Gestaltung der Trainingsszenarien befindet sich aktuell im Abschluss (AP4). AP 5 und 6 sowie die Entwicklung der Trainingsdrehbücher (AP7) werden aktuell bearbeitet.

Darüber hinaus wurde im Kontext der multimodalen Trainingsentwicklung eine Multiplayer-Umgebung entwickelt, in welcher mehrere Nutzer via Server-Verbindung in gemeinsamen Räumen trainieren kann. Die virtuellen Räume wurden dabei so gestaltet, dass unterschiedliche Trainingsszenarien ausgewählt werden können. Die Nutzer*innen werden dabei als Avatar dargestellt und können mit unterschiedlichen Objekten interagieren. Die Multiplayer-Umgebung ist kompatibel mit Virtual Reality Headsets, PCs sowie Tablets.

Insgesamt fanden 5 bilaterale virtuelle Gespräche zwischen RUB und GfS statt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Weiterarbeit orientiert sich an oben dargelegtem Arbeitsprogramm. Im kommenden Berichtszeitraum (07/22 – 12/22) werden APs 4-6 abgeschlossen und AP7 durchgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Frau Prof. Dr. Annette Kluge, Frau Myriel Kinkel und Frau Lisa Thomaschewski haben vom 23. – 25.05.22 am FORKA Doktorand*innen und Statusseminar in Berlin teilgenommen und das hier dargelegte Projekt vorgestellt.

Zusätzlich hat Frau Prof. Dr. Kluge das Technical Meeting HR Development for Decommissioning (EVT2103799) in Wien vom 18. – 22.07.22 moderiert. In Vorbereitung hierzu hat Frau Prof. Dr. Kluge vom 21. – 25.02.22 am Consultancy Meeting sowie an drei weiteren virtuellen vorbereitenden Meetings (28.04.22, 09.06.22 und 12.07.22) teilgenommen.

Berichtszeitraum: 01.01.2022 bis 30.06.2022	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)

Die Phase 1 wurde abgeschlossen (AP 1 bis AP 3).

AP 1 ist abgeschlossen.

AP 2 ist abgeschlossen.

AP 3 ist abgeschlossen.

Phase 2: Zielgruppen- und zukunftsorientierte Maßnahmengestaltung: AP 4-7.

AP 4 ist noch in Arbeit

AP 5 ist noch in Arbeit.

AP 6 ist soweit abgeschlossen, wir allerdings noch an die Ergebnisse aus dem AP 7 angepasst.

AP 7 ist derzeit in der Entwicklungsphase. Die GfS ist dabei beratend tätig.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die geplante Weiterarbeit umfasst die Phase 3 (AP 8-9) in welcher die Pilotdurchführung stattfinden wird.

Start von AP 8 (Pilotdurchführung) ist für das 1. Quartal geplant.

Aufgrund der Abweichung der geltenden Zeitplanung wird die Phase 3 erst in 2023 durchgeführt.

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