

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum

1. Juli - 31. Dezember 2022





Gesellschaft für Anlagen-
und Reaktorsicherheit
(GRS) gGmbH

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
1. Juli - 31. Dezember 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 (<https://www.grs.de/de/projekttraeger/rueckbau>) 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 innerhalb der fachlichen Schwerpunkte 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	VP: Entwicklung eines neuartigen, universellen Rohrintrenners für die Demontage von (kontaminierten) Rohrleitungen; TP: Entwicklung eines innovativen Schneidwerkzeug-Demonstrators und eines Prüfverfahrens inkl. Prüfstand zur experimentellen Untersuchung.	8
15S9415B	VP: Entwicklung eines neuartigen, universellen Rohrintrenners für die Demontage von (kontaminierten) Rohrleitungen; TP: Konzeptionierung, Herstellung und Erprobung eines neuartigen Befestigungs- und Trägersystems, der Zustelleinheit sowie des Antriebs des Rohrintrenners.	11
15S9416A	VP: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont); TP: Durchführung experimentelle Versuche und Auswertung an Versuchsmuster	13
15S9416B	VP: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont); TP: Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster	16
15S9416C	VP: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont); TP: Detaillierung und Ausgestaltung der Versuchsmuster samt Einhausung mit Absaugung	19
15S9416D	VP: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont); TP: Praxisversuche und Verifizierung	21
15S9418A	VP: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau (LaDeco); TP: Ermittlung von Sekundäremissionen bei der laserbasierten Dekontamination und Praxiserprobung	24
15S9418B	VP: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau (LaDeco); TP: Untersuchungen zur thermischen Zersetzung, zum Partikeltransport und zur Lackdetektion auf Betonoberflächen	27
15S9424	Produktives Seilschleifen von Stahl durch modellbasierte Prozessauslegung	30
15S9425A	VP: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung; TP: Parametervalidierung zum Tiefschnitt von hochbewehrtem Stahlbeton und Erprobung eines neuartigen Anbaugeräts zur Rissüberfräsung kontaminierter Wandstrukturen	33
15S9425B	VP: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung; TP: Konzeptionierung eines hochflexiblen Anbaugerätes als Prüfstand zur experimentellen Untersuchung für die Rissüberfräsung kontaminierter Wandstrukturen sowie Neukonzeptionierung eines Absaugsystems für den Materialabtransport	36
15S9425C	VP: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung; TP: 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	39
15S9429A	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil); TP: Simulationsbasierte Werkzeugauslegung und Untersuchung des Einsatzverhaltens	42
15S9429B	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie; TP: Bindungs- und fertigungsspezifische Seilschleifwerkzeugentwicklung	46
15S9429C	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil); TP: Einfluss der Verwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung auf die im industriellen Rückbau verwendete Maschinenteknologie	49
15S9429D	VP: Hocheffiziente Seilschleifwerkzeuge mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil); TP: Anwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung im industriellen Rückbau.	52

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
15S9429E	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil); TP: Auslegung und Herstellung neuartiger Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schneidstoffanordnung.	54
15S9430A	VP: 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; TP: CAMG-Prozess	58
15S9430B	VP: 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; TP: CAMG-Anwendung	62
15S9434A	VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA); TP: Entwicklung von Werkzeugen zur In-Situ-Analyse von Betoneigenschaften, Radionukliden und hydraulischer Loch-zu-Loch-Permeabilität sowie Befundkartierung	66
15S9434B	VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus; TP: Analytik für die Beprobung von Beton	70
15S9434C	VP: Gesamtvorhaben: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA); TP: Elektronische Ergebnisdokumentation, Beprobungsplanung und Wissensmanagement	72
15S9435A	VP: Visualisierung von Störstellen für Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessungen mit Hilfe von BIM; TP (KIT): Entwicklung eines innovativen Verfahrens für die Erstellung eines BIM-Modells für die zu bearbeitenden Räumlichkeiten einschließlich der Integration von Störstellen	76
15S9435B	VP: Visualisierung von Störstellen für Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessungen mit Hilfe von BIM; TP (RWE): Praxisversuche und praxisorientierte Beratung bei Anwendung des BIM-Modells für Planung und Durchführung der Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessung	79
02.	Freigabeverfahren und konventionelle Entsorgungswege	
15S9409A	VP: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenflussverteilungen; TP: Berechnung der Neutronenflussverteilung in reaktornahen Bauteilen und deren Validierung an Experimenten als Basis der Aktivitätsrechnungen	83
15S9409B	VP: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenflussverteilungen; TP: Entwicklung und Anwendung einer Rechenmethode zur genauen Bestimmung der Aktivitäts- und Dosisleistungsverteilung von KKW für optimalen Rückbau	86
15S9431A	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie; TP: Gerätebau und -entwicklung	89
15S9431B	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie; TP: Bildrekonstruktionsverfahren	96
15S9431C	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, Richtungs aufgelöster In-Situ-Gammaspektrometrie (QGRIS); TP: Experimentelle Untersuchungen und Simulation	99
15S9431D	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie; TP: Qualifizierung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen	103

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
03.	Behandlung radioaktiver Abfälle	
15S9407A	VP: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit; TP: Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Konditionierungsverfahren mit Nuklidseparation zur Volumenreduktion	105
15S9407B	VP: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit; TP: Entwicklung und Erprobung von Verfahrensansätzen zur Vergasung von Reaktorgraphit für die optimale Abtrennung radioaktiver Kontaminationen	108
15S9413A	VP: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen; TP: Verfahrensentwicklung zur Dekontamination und Konditionierung der Prozessmedien einschließlich Gewinnung/Herstellung und Charakterisierung von Betonproben	111
15S9413B	VP: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen; TP: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung von radioaktiv kontaminierten Zementstein mittels elektrohydraulischer Fragmentierung	113
15S9423A	VP: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen; TP: Durchführung der Versuche mit inaktivem Probenmaterial	115
15S9423B	VP: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen; TP: Durchführung von Versuchen mit radioaktivem Probenmaterial	118
15S9428A	VP: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA); TP: Projektkoordination sowie ökologische und radiologische Bewertungen	121
15S9428B	VP: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA); TP: Entwicklung von Recyclingstrategien und Identifizierung von ökonomischen Verwertungswegen	125
15S9428C	VP: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA); TP: Identifikation und Bereitstellung von Komponenten zur Untersuchung sowie Integration relevanter Ergebnisse zur Berücksichtigung im Rückbau	128
15S9428D	VP: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA); TP: Ermittlung des intrinsischen Materialwerte	132
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	135
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	137
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	139

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
04.	Abfalldeklaration und Zwischenlagerung	
15S9406A	VP: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM); TP: Entwicklung und Bau der Messanlage	141
15S9406B	VP: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM); TP: Methoden- und Softwareentwicklung	144
15S9406C	VP: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM); TP: Online-Messungen des Neutronenflusses	148
15S9420	Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebinde (EMOS)	151
15S9422A	VP: Virtual REmote RObotics for Radiometric Sorting; TP: Intuitive VR/AV Multi-Robotersteuerung für ein anwendungsnahes Rückbauszenario	154
15S9422B	VP: Virtual REmote RObotics for Radiometric Sorting (VIRERO); TP: Ortsaufgelöste radiologische Charakterisierung zur Sortierung	157
15S9422C	VP: Virtual REmote RObotics for Radiometric Sorting (VIRERO); TP: Immersives, lernfähiges Teleoperationssystem und autonome Roboterfähigkeiten	160
15S9432	Forschungsarbeiten zur Entwicklung eines bildgebenden, zerstörungsfreien Analyse- und Deklarationsverfahrens für radioaktive Abfallgebinde, basierend auf lasergetriebenen Neutronenquellen	164
15S9436A	VP: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen; TP A: Koordination und Erstellung der BIM Modelle	167
15S9436B	VP: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen; TP B: BIM, Game-Engine, optimierte Verpackungsplanung und FLUKA Simulation	169
15S9436C	VP Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen; TP C: Datenbank	172
05.	Umwelt- und Strahlenschutz	
15S9417	Umsetzung von Schwermetall-Landfarming zur nachhaltigen Landschaftsgestaltung und Gewinnung erneuerbarer Energien auf radionuklidbelasteten Flächen: Optimierungsstrategien (USER-II)	175
15S9437A	VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse; TP A: Einfluss von natürlichen nanopartikulären Phasen auf die Radionuklidverteilung im Wirkungsgefüge Boden-Pflanze	178
15S9437B	VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse; TP B: Remobilisierung von Radionukliden, Charakterisierung mikrobieller Diversität im Boden und die Beeinflussung durch Radionuklide und Wurzelexsudate	180
15S9437C	VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse; TP C: Einfluss der Bodenmikrobiologie auf den RN-Transfer und Verifizierung von Aufnahmemechanismen für RN in Pflanzen	182
15S9437D	VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse; TP D: Radioökologische Modellierung	185
15S9437E	VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse; TP E: Geochemische Modellierung der in den Teilprojekten A und B untersuchten Systeme	187

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
06.	Mensch und Organisation	
15S9419	Transformationskonzept für Personal von Kernkraftwerken im Rückbau (KernTrafo)	189
15S9426A	VP: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken (Kurztitel Rückbaukompetenzen)	196
15S9426B	VP: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken (Kurztitel Rückbaukompetenzen)	199

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	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 30.06.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 848.941,20 € (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. Ein Anschluss zur Anbringung einer Absaugung für anfallende Späne oder andere Reststoffe ist vorgesehen. 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 mit Sägeblättern, Frässscheiben und Trennscheiben)
- AP5: Entwicklung, Konstruktion und Herstellung eines neuartigen Trägersystems
- AP6: Praktische Testreihe (2. Versuchsreihe mit Sägeblättern und Frässscheiben und vorbereitende Versuche mit Dehnungsmessstreifen für Prototyp)
- AP7: Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP8: Entwicklung und Konstruktion eines Werkzeug-Demonstrators -> Festlegung des besten Trennwerkzeuges für 3. Versuchsreihe je nach Anwendungsfall
- 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 mit Sägeblättern und Frässcheiben und vorbereitende Versuche mit Dehnungsmessstreifen für Prototyp)

Die praktische Testreihe mit Sägeblättern und Frässcheiben wurde abgeschlossen. Da die Datenaufnahme am Prototyp von NIS ausschließlich mit Dehnungsmessstreifen erfolgt, wurden in AP6 zusätzlich Versuche mit Dehnungsmessstreifen durchgeführt. Es wurde untersucht, wie die Daten aus den Versuchsreihen mit dem Prototyp mit den Daten aus der ersten und zweiten Versuchsreihe verglichen werden können. Auch diese Versuche wurden abgeschlossen.

AP8: Entwicklung und Konstruktion eines Werkzeug-Demonstrators -> Festlegung des besten Trennwerkzeuges für 3. Versuchsreihe je nach Anwendungsfall

Die besten Parameter zur Rohrintrennung mit Sägeblättern und Frässcheiben konnten am Versuchstand des KIT-TMB durch die in AP4 und AP6 durchgeführten Versuchsreihen identifiziert und die Daten entsprechend ausgewertet werden. Für die in den Versuchsreihen untersuchten Trennwerkzeuge wurden je nach Ausführung (Schneidwerkstoff, Beschichtung etc.) die besten Betriebsparameter (Drehzahl, Vorschub) für die Rohrintrennung der in kerntechnischen Anlagen vorkommenden Werkstoffe zusammengestellt. Ausgewertet wurden u.a. die Schnittkräfte, Wärmeentwicklung und die Schnitttiefe durch Profilschans.

Aufbauend auf den besten Betriebsparametern aus der Rohrintrennung am Versuchstand des KIT-TMBs wurde ein Versuchsplan zur Durchführung der dritten Versuchsreihe mit dem Prototyp in AP10 aufgestellt.

AP9: Zusammenführung der Teilentwicklungen

Ende November wurde der Prototyp samt Schaltschrank in die Versuchshalle des KIT-TMB geliefert. Anschließend wurden erste Tests an dem in AP6 fertiggestelltem Versuchstand des TMBs an zwei unterschiedlichen Rohrdurchmessern und Werkstoffen (\varnothing 219 mm - Baustahl und \varnothing 355 mm-Edelstahl) durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass der Versuchstand den Anforderungen des Prototyps gerecht wird und der am TMB vorhandene Mobilkran zur Halterung des Prototyps geeignet ist. Ebenfalls wurde deutlich, dass das entwickelte Spannsystem, die Ansteuerung der Motoren und des Trennwerkzeuges von NIS zur Trennung freiliegender Rohre funktionieren. Weitere Informationen zum Prototyp sind dem Zwischenbericht von NIS zu entnehmen.

In Abbildung 1 ist der Prototyp bei der Rohrintrennung in einem Baustahlrohr mit Rohraußendurchmesser von 219 mm zu sehen. Abbildung 2 zeigt den Prototyp mit Scheibenfräser bei der Rohrtrennung eines Edelstahlrohres mit einem Rohraußendurchmesser von 355 mm.



Abb. 1: Rohinntrennung
Baustahlrohr, \varnothing 219 mm



Abb. 2: Rohinntrennung
Edelstahlrohr, \varnothing 355 mm

Nach der Überprüfung der Funktionalität des Gesamtsystems wurden seitens des TMBs Dehnungsmesstreifen am Spannsystem des Prototypens angebracht. Die Datenaufnahme der DMS müssen Anfang 2023 kalibriert werden, sodass anschließend daran die Versuchsreihen am Prototypen in Zusammenarbeit mit NIS durchgeführt werden können.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

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

In 2023 wird die Versuchsreihe mit dem Prototyp am KIT-TMB gemäß Versuchsplan fortgeführt und die Daten entsprechend ausgewertet sowie mit den bisherigen generierten Daten verglichen.

Im Anschluss an die Versuchsdurchführung und Überprüfung der Parameter am Versuchstand des KIT-TMBs müssen in AP10 die erzielten Messergebnisse und die Einsetzbarkeit des von NIS entwickelten Prototypens durch Praxisversuche verifiziert werden. Hierzu muss in Abstimmung mit RWE die Auswahl geeigneter Räumlichkeiten in einer kerntechnischen Anlage bzw. die Durchführung der Rohrintrennung an Rohrleitungen aus einem Kernkraftwerke erfolgen. Gegebenenfalls sind anschließend weitere Optimierungen am System notwendig.

AP11: Dokumentation

Parallel zu den aufgeführten Arbeiten wird in AP11 die Dokumentation durchgeführt. Seitens des KIT bezieht sich das auf die wissenschaftliche Aufbereitung der durchgeführten Arbeiten zum Zwecke der Veröffentlichungen auf Messen und in Fachzeitschriften sowie der Lehre.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Das Projekt RoTre wurde im Rahmen von Vorlesungen am KIT-TMB, Mitgliedern der OECD NEA und externen Studierenden von der ETH Zürich vorgestellt. Im angegebenen Berichtszeitraum wurden keine Veröffentlichungen publiziert.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	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 30.06.2023	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. Ein Anschluss zur Anbringung einer Absaugung für anfallende Späne oder andere Reststoffe ist vorgesehen.

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 mit Sägeblättern, Frässcheiben und Trennscheiben)
- AP5: Entwicklung, Konstruktion und Herstellung eines neuartigen Trägersystems
- AP6: Praktische Testreihe (2. Versuchsreihe mit Sägeblättern und Frässcheiben und vorbereitende Versuche mit Dehnungsmessstreifen für Prototyp)
- AP7: Entwicklung und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung
- AP8: Entwicklung und Konstruktion eines Werkzeug-Demonstrators -> Festlegung des besten Trennwerkzeuges für 3. Versuchsreihe je nach Anwendungsfall
- 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

Der Prototyp wurde aufgrund von Lieferengpässen und Lieferverzögerungen Mitte Q4/2022 fertiggestellt.

Nach der Inbetriebnahme und ersten Funktionstests des Prototyps im Technikum der Siempelkamp NIS, wurde dieser für die Versuche in der Versuchshalle des KIT-TMB vorbereitet (Anpassungen der Software).

AP9: Zusammenführung der Teilentwicklungen

Ende November wurde der Prototyp samt Schaltschrank in die Versuchshalle des KIT-TMB geliefert. Anschließend wurden erste Tests an den im AP6 fertiggestelltem Versuchstand des TMBs an zwei unterschiedlichen Rohrdurchmessern und Werkstoffen (\varnothing 219 mm - Baustahl und \varnothing 355 mm-Edelstahl) durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass das entwickelte Spannsystem, die Ansteuerung der Motoren und des Trennwerkzeuges von NIS zur Trennung freiliegender Rohre funktionieren. Als Vorbereitung für die weiteren Praxisversuche in 2023 wurde entsprechende Messtechnik am Spannsystem des Prototyps angebracht.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

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

Die bereits in 2022 begonnenen Versuche werden in 2023 in der Versuchshalle des KIT-TMB fortgeführt. Das KIT-TMB bereitet weiterhin die Daten der durchgeführten Arbeiten wissenschaftliche auf. Im Anschluss an die Versuchsdurchführung, werden die Messdaten durch Praxisversuche bei RWE in Q2/2023 verifiziert. Die Auswahl geeigneter Räumlichkeiten bzw. Rohrleitungen in einer kerntechnischen Anlage erfolgen zusammen mit RWE. Gegebenenfalls sind anschließend weitere Optimierungen am System notwendig.

AP11: Dokumentation

Parallel zu den aufgeführten Arbeiten wird in AP11 die Dokumentation zum RoTre erstellt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	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: Verbundvorhaben: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) Teilvorhaben: Durchführung experimentelle Versuche und Auswertung an Versuchsmuster	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 30.06.2023	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. Das Versuchsmuster 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: (01.11.20-31.11.22): 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: (01.05.21-31.03.23): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster

AP 8: (01.06.22-31.12.22): Versuche vor Ort

AP 9: (01.04.23-30.06.23): 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

Für die Versuche vor Ort wurden die Gehäuse der ersten und dritten Prototypen angepasst und im Versuchsstand weiter getestet. Die Anschlüsse zur Absaugung sind bei der Einhausung nochmal angepasst und für die Versuche vor Ort vorbereitet worden. Das KIT-TMB unterstützte hierbei die Contec GmbH und die HTWG bei den durchzuführenden Arbeiten.

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

Um die Ergonomie und Effizienz der Prototypen zu untersuchen, sind die Vorversuche mit der Handbedienung für die Vorbereitung der Versuche vor Ort durchgeführt worden. Die Ergebnisanalyse wird weiterhin fortgesetzt. Der Vergleich der spezifischen Reaktionskräfte zwischen dem Betonfräser und dem ersten Prototyp sind durchgeführt. Durch die Bildung rechter Winkel durch die 5 Diamantscheiben mit unterschiedlichen Durchmesser verursacht der 1. Prototyp im Vergleich zum Betonfräser geringere spezifische Reaktionskräfte. Die Staubproben zur Staubpartikelgrößenmessung sind laut der aktuellen Ergebnisanalyse festgelegt und die Messung ist weiter beauftragt.

AP 8: Versuche vor Ort

Der erste, dritte und vierte Prototyp wurden dem Projektpartner SAT. Kerntechnik für die Versuche vor Ort übergeben. Die Versuche vor Ort sind im Maschinenhaus des Kernkraftwerk Obrigheim durchgeführt worden.

Der erste Prototyp (gleichläufige Diamantscheiben mit einem Antrieb) erhielt sehr gutes Feedback vom dem Projektpartner SAT. Kerntechnik. Bezüglich der Abtragsqualität und Handbedienung wurde noch Verbesserungspotenzial identifiziert.

Der dritte Prototyp (gegenläufige Diamantscheiben mit Getriebe und einem Antrieb) erhielt Feedback zur Verbesserung des Einsatzgewichts und der Außenmaße.

Der vierte Prototyp (oszillierendes Werkzeug mit verschiedenen Aufsätzen) bietet leichte Handhabung und geringes Einsatzgewicht, hierbei wurde im Feedback die Abtragsleistung als größtes Potential ausgemacht.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 7: Die experimentelle Versuchsreihe mit Betongüte C30/37 und die weitere Analyse der Versuchsergebnisse werden auch geplant.

AP 9: Wissenschaftliche Aufbereitung der durchgeführten Arbeit

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bauma 2022, Vorstellung Ecken & Kantenfräser durch die Contec GmbH im Zuge des Forschungsprojekts „Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen

P. Dietrich, K. Heppler: „Getriebelösung für gegenläufige Fräsprozesse“, Zeitschrift Antriebstechnik (07/22)

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9416B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hochschule Konstanz – Technik, Wirtschaft und Gestaltung HTWG, Labor für Produktentwicklung und Maschinenkonstruktion, Alfred-Wachtel-Str. 8, 78462 Konstanz	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: 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 30.06.2023	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. Das Versuchsmuster 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: (01.11.20-31.11.22): 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: (01.05.21-31.03.23): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster

AP 8: (01.06.22-31.12.22): Versuche vor Ort

AP 9: (01.04.23-30.06.23): 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

Um den reibungslosen Ablauf der Versuche vor Ort zu gewährleisten, wurden die Gehäusekonstruktionen des ersten und dritten Versuchsmusters angepasst und überarbeitet. Außerdem wurden die Geräte so vorbereitet, dass ein reibungsloser Ablauf während den Versuchen vor Ort im Kernkraftwerk Obrigheim sichergestellt ist.

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

Die Durchführung der experimentellen Versuchsreihen wurden am KIT-TMB durchgeführt. Bei aufgetretenen Problemen und Schwierigkeiten mit den Versuchsmustern wurde in Zusammenarbeit die Ursache hierfür ermittelt und eine Lösung gesucht und umgesetzt. Beispielsweise konnte festgestellt werden, dass der Winkelschleifer, welcher das dritte Versuchsmuster antreibt, überlastet ist. Statt auf ein leistungsfähigeres Modell umzusteigen, konnte der Antriebsstrang optimiert und so die benötigte Antriebsleistung gesenkt werden.

AP 8: Versuche vor Ort

Um die Versuchsmuster auch im praktischen Einsatz zu erproben und Rückmeldung von den ausführenden Arbeitern zu erhalten, wurden vom Projektpartner SAT Kerntechnik Versuche im Kernkraftwerk Obrigheim durchgeführt. Aufgrund der aufwändigen und zeitintensiven Genehmigungsverfahren, haben sich diese Arbeiten etwas verschoben. Außerdem konnte wegen einer potenziellen Kontamination der Versuchsmuster lediglich im Maschinenhaus und nicht im Kontrollbereich getestet werden, da die Versuchsmuster zur weiteren Projektbearbeitung weiterhin frei zugänglich bzw. verfügbar sein müssen. Dennoch konnten die Tests wie geplant durchgeführt und das Feedback eingeholt werden.

Das erste Versuchsmuster (gleichläufige Diamantscheiben mit einem Antrieb) erhielt sehr gutes Feedback vom dem Projektpartner SAT Kerntechnik. Bezüglich der Abtragsqualität und Handbedienung wurde noch Verbesserungspotenzial identifiziert.

Das dritte Versuchsmuster (gegenläufige Diamantscheiben mit Getriebe und einem Antrieb) erhielt Feedback zur Verbesserung des Einsatzgewichts und der Außenmaße.

Das vierte Versuchsmuster (oszillierendes Werkzeug mit verschiedenen Aufsätzen) bietet leichte Handhabung und geringes Einsatzgewicht, hierbei wurde im Feedback die Abtragsleistung als größtes Potential ausgemacht.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 7: Es werden weitere experimentelle Versuchsreihen mit Betongüte C30/37 durchgeführt und ausgewertet. Außerdem sollen die experimentellen Versuchsergebnisse mit dem Feedback aus dem praktischen Einsatz abgeglichen werden.

AP 9: Wissenschaftliche Aufbereitung der durchgeführten Arbeit.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bauma 2022, Vorstellung Ecken & Kantenfräser durch die Contec GmbH im Zuge des Forschungsprojekts „Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen

P. Dietrich, K. Heppler: „Getriebelösung für gegenläufige Fräsprozesse“, Zeitschrift Antriebstechnik (07/22)

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9416C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CONTEC – Maschinenbau & Entwicklungstechnik GmbH, Hauptstraße 146, 57518 Alsdorf	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) Teilvorhaben: Detaillierung und Ausgestaltung der Versuchsmuster samt Einhausung mit Absaugung"	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 30.06.2023	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. Das Versuchsmuster 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: (01.11.20-31.11.22): 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: (01.05.21-31.03.23): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster

AP 8: (01.06.22-31.12.22): Versuche vor Ort

AP 9: (01.04.23-30.06.23): 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

Für die Versuche vor Ort wurden die Gehäuse der ersten und dritten Prototypen angepasst und im Versuchsstand weiter getestet. Es wurde festgestellt, dass die Anschlüsse zur Absaugung angepasst werden mussten. Speziell für die Feldversuche wurde die Einhausung nochmal überarbeitet. Die Absaugstutzen und Teile des Absauggehäuses wurden konstruiert und gebaut. Zusammen mit der KIT-TMB wurden diese angebaut und optimiert.

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

Um die Ergonomie und Effizienz der Prototypen zu untersuchen, sind die Vorversuche mit der Handbedienung für die Vorbereitung der Versuche vor Ort durchgeführt worden. Die Ergebnisanalyse wird weiterhin fortgesetzt. Der Vergleich der spezifischen Reaktionskräfte zwischen dem Betonfräser und dem ersten Prototyp sind durchgeführt. Durch die Bildung rechter Winkel durch die 5 Diamantscheiben mit unterschiedlichen Durchmesser verursacht der 1. Prototyp im Vergleich zum Betonfräser geringere spezifische Reaktionskräfte. Die Staubproben zur Staubpartikelgrößenmessung sind laut der aktuellen Ergebnisanalyse festgelegt und die Messung ist weiter beauftragt. Die Ergebnisse der Messungen führten zu Verbesserungen der Hardware, die in der Firma umgesetzt und montiert wurde.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 7: Die experimentelle Versuchsreihe mit Betongüte C30/37 und die weitere Analyse der Versuchsergebnisse werden auch geplant.

AP 9: Wissenschaftliche Aufbereitung der durchgeführten Arbeit. Hierbei unterstützen wir die KIT-TMB und HTWG.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bauma 2022, Vorstellung Ecken & Kantenfräser durch die Contec GmbH im Zuge des Forschungsprojekts „Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen. Die Prototypen wurden auf unserem Messestand ausgestellt. Mit Videos und Plakaten wurde die Anwendung erklärt.

P. Dietrich, K. Heppler: „Getriebelösung für gegenläufige Fräsprozesse“, Zeitschrift Antriebstechnik (07/22)

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9416D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: SAT Kerntechnik GmbH, Am Guten Brunnen 10, 67547 Worms	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont) Teilvorhaben: Praxisversuche und Verifizierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019 bis 30.06.2023	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 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: (01.11.20-31.11.22): 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: (01.05.21-31.03.23): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse einschließlich Verbesserung der Versuchsmuster
- AP 8: (01.06.22-31.12.22): Versuche vor Ort

AP 9: (01.04.23-30.06.23): Dokumentation und Evaluation

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

AP5-8

- -Laufende Abstimmungen mit der Firma Contec, dem KIT und der HTWG
- -Austausch von Informationen, Dokumenten und Ideen
- -Zuarbeit zu Berichten und Veröffentlichungen
- -Beratungsleistungen für die anderen Projektteilnehmer
- -Optimierung der Prototypen
- -Vorbereitung der Praxisversuche vor Ort

AP8

Der erste, dritte und vierte Prototyp wurde durch ein Team der SAT Kerntechnik GmbH für die Versuche vor Ort übernommen. Die Versuche vor Ort wurden im September 22 im Maschinenhaus des Kernkraftwerk Obrigheim vorbereitet und durchgeführt.

Der erste Prototyp (gleichläufige Diamantscheiben mit einem Antrieb) wurde sehr positiv bewertet. Bezüglich der Abtragsqualität und Handbedienung wurde noch Verbesserungspotenzial identifiziert.

Der dritte Prototyp (gegenläufige Diamantscheiben mit Getriebe und einem Antrieb) muss bezüglich des Einsatzgewichts und der Außenmaße optimiert werden.

Der vierte Prototyp (oszillierendes Werkzeug mit verschiedenen Aufsätzen) bietet leichte Handhabung und geringes Einsatzgewicht. Verbesserungspotential insbesondere bei der Abtragsleistung. In diesem Zuge erfolgte auch die Dokumentation der Versuche (Videos, Fotos, Reports).

- Besuch der Icond in Aachen im Nov. 2022 (Ansatzpunkte für das Folgeprojekt, siehe Punkt 9)

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die SAT Kerntechnik GmbH unterstützt bei den folgenden Aufgaben:

AP 7: Die experimentelle Versuchsreihe mit Betongüte C30/37 und die weitere Analyse der Versuchsergebnisse werden auch geplant.

AP 9: Wissenschaftliche Aufbereitung der durchgeführten Arbeit

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Veröffentlichungen:

Bauma 2022, Vorstellung Ecken & Kantenfräser durch die Contec GmbH im Zuge des Forschungsprojekts „Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen

P. Dietrich, K. Heppler: „Getriebelösung für gegenläufige Fräsprozesse“, Zeitschrift Antriebstechnik (07/22)

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9418A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden, Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben LaDECO: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau Teilvorhaben: Ermittlung von Sekundäremissionen bei der laserbasierten Dekontamination und Praxiserprobung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 31.05.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 816.489,05 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Habil. Antonio Hurtado	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Antonio.Hurtado@tu-dresden.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Projektarbeit liegt in der Charakterisierung der entstehenden Sekundäremissionen (Partikel und Gase). In den bisherigen Untersuchungen wurde eine intensive Partikelentstehung während der Laserabtragsprozesse beobachtet. Da diese Partikel - prozessparameterabhängig- nanoskalig und damit lungengängig 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-1: Die Realisierung des Versuchstandes wurde planmäßig abgeschlossen. Neben der notwendigen Messtechnik zur Charakterisierung der Prozesszustände wurde die Aerosolentnahme und zugehörige Messtechnik installiert und getestet. Die Erprobung des Versuchstandes wurde vollständig abgeschlossen.

Für die Versuche im TUD-2 wurden reproduzierbare Betriebspunkte der Absaugung festgelegt und charakterisiert. Dazu wurden u.a. die Strömungsgeschwindigkeiten, Druckverluste und die zugehörige Partikeltransporteffizienz bestimmt. Der Teilbericht ist fertig.

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 fertig.

TUD-3: Unter Verwendung der entwickelten Abtragsbox zum sicheren Einschluss der Aktivität zum Transport der Proben zum Radionuklidlabor wurden auf Basis der ermittelten Parametersätze alle Versuche zur Laserstrahldekontamination zwischen den verschiedenen Metalloberflächen und den verschiedenen Nukliden Co60, Cs137, Sr85 und Am241 durchgeführt. Eine Zusammenfassung des erreichten Dekontaminationsgrades nach einmaliger Bearbeitung ergibt folgende Übersicht:

	Edelstahl	Baustahl	Baustahl verzinkt	Baustahl verrostet	Lack
Co60	90	68	98	93	99
Cs137	100	99	99	97	100
Sr85	90	94	94	97	100
Am241	90	93	93	99	100

Bei mehrmaliger Bearbeitung tendiert der Dekontaminationsgrad zu 100 %. Es konnte nachgewiesen werden, dass bei dem Verfahren keine Aktivität in die Umgebung gelangt.

Während eines zweiwöchigen Aufenthalts an der KTE wurde das Verfahren an realen Oberflächen im Kontrollbereich des Prozessgebäudes demonstriert. Die Messergebnisse zu diesen Versuchen liegen vor und werden derzeit ausgewertet.

TUD-4: Die Untersuchungen zur Schädigung optischer Komponenten unter Strahlenbelastung wurden bei harter Gammabestrahlung an Lichtleitfasern und Schutzgläsern am INT in Euskirchen bei einer Bestrahlungszeit von 16 Stunden und einer Strahlendosis von über 1000 Gy durchgeführt. Schutzgläser wiesen keine erfassbaren Änderungen auf. Bei einer Lichtleitfaserlänge von 50 m kam es zu einem Abfall der Transmission auf 85 %. Allerdings konnte festgestellt werden, dass dieser Abfall von der Höhe der transmittierten Laserleistung (bei der Untersuchung im mW-Bereich) umgekehrt proportional abhängig ist. Es wird davon ausgegangen, dass Laserstrahlleistungen im kW-Bereich zu einem Ausheilen von γ -induzierten Effekten führt und die Schwächung deutlich geringer ist.

Der Teilbericht ist fertig.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

TUD-1: keine

TUD-2: keine

TUD-3: keine

TUD-4: Keine

TUD-9: Zusammenstellung des Abschlussberichtes

5. Bezug zu anderen Vorhaben

6. Berichte und Veröffentlichungen

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9418B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Qualifizierung der laserbasierten Dekontaminierungstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau (LaDECO) Teilvorhaben: Untersuchungen zur thermischen Zersetzung, zum Partikeltransport und zur Lackdetektion auf Betonoberflächen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2019 bis 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 – Teil Nachbildung der Lackzersetzung: Die Messkampagnen, welche zusammen mit und an der TU Dresden mittels Impuls- und kontinuierlichen Lasersystemen durchgeführt wurden, sind abschließend ausgewertet worden. Die Auswertung der Ergebnisse aus den vorangegangenen Versuchskampagnen am Versuchsstand zur Lackzersetzung der TUBAF wurde weitgehend abgeschlossen. Aufgrund der Ergebnisse wurde der Versuchsstand umgeplant, insbesondere die Aufheizgeschwindigkeit musste erhöht werden sowie die Veränderung der Gasführung. Mit dem Umbau wurde begonnen.

AP 6 – Teil Modellierung der Verbrennungsreaktion: Da innerhalb der Reaktionszone eine lokale Verteilung der Werte für Temperatur, Stoffumsatz und Mischverhältnis vorliegt, muss die chemischen Simulationen auf weitere Bereiche um die Reaktionszone ausgeweitet werden. Dafür wurden zunächst weitere Temperatur-Zeit-Kurven, welche die Reaktionszone durchdringen, ermittelt. Diese dienen als Grundlage für die Berechnung des chemischen Umsatzes und damit der freigesetzten Reaktionsenthalpie. Die realen Bedingungen werden iterativ angenähert. Die ersten Ergebnisse der chemischen Betrachtung für eine zentrale Stromlinie der Reaktionszone liegt mit Berichtsende vor.

AP 8 – Teil Restlackdetektion: Die Materialabhängigkeit, die geometrischen Parameter und der Einfluss der Strahlungsquellen auf die Verläufe der Temperatur-Zeit-Kurven bei der thermografischen Lackdetektion wurden weiter untersucht. Darauf aufbauend wurden Parameter für die heuristische Bewertung der Oberflächengüte festgelegt. Mit der Umsetzung des heuristischen Modells im Rahmen der Auswertesoftware wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 5: Der Umbau des Versuchsstandes an der TUBAF soll zeitnah abgeschlossen werden. Anschließend werden die geplanten Versuche durchgeführt. Nach Abschluss der Versuche erfolgt die Auswertung der Ergebnisse.

AP 6: Die Ergebnisse der chemischen Betrachtung auf Basis der erweiterten Temperatur-Zeit-Kurven, müssen entsprechend der volumetrischen Anteile an der Reaktionszone analysiert werden. Dadurch kann sowohl der globale stoffliche Umsatz, als auch die Gesamtreaktionsenthalpie bestimmt werden. Mit diesen Randbedingungen wird anschließend die dreidimensionale Simulation neu aufgesetzt um eine Aussage über die Temperaturverteilung in der Reaktionszone treffen zu können. Die bisherigen Untersuchungen aus AP 5 müssen anschließend bewertet und in den Abschlussbericht eingepflegt werden.

AP 8: Das heuristische Modell wird im Rahmen der Auswertesoftware umgesetzt. Das Modell wird anschließend anhand der vorangegangenen Messergebnisse validiert.

AP 9: Die in den Arbeitspaketen 5 bis 8 verwendeten Versuchsaufbauten werden dokumentiert. Die Ergebnisse werden zusammenfassend ausgewertet, bewertet und im Rahmen des Abschlussberichts dokumentiert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen der Bearbeitung des Vorhabens wurde Kontakt mit der Firma Clean-Lasersysteme GmbH, einem Hersteller von Dekontaminations-Laser-Systemen, hergestellt. Zielstellung ist die Sondierung gemeinsamer Interessen hinsichtlich der Weiterentwicklung der Laser-Dekontaminationssysteme.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9424
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen	
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

AP4: Ziel des vierten Arbeitspakets ist die Modellbildung zur Vorhersage der Werkzeugtemperatur beim Seilschleifen unter Berücksichtigung temperaturrelevanter Faktoren. In den vorherigen Arbeitspaketen konnte bereits gezeigt werden, dass die Kühlleistung der Druckluftkühlung abhängig von der Anzahl der verwendeten Düsen ist. Es hat sich herausgestellt, dass bei mehr als zwei Vortex-Düsen ein Druckabfall entsteht, der die Kühlleistung negativ beeinflusst. Um dies weitergehen zu untersuchen, wurde in Abbildung 1 untersucht, wie sich der anliegende Druck auf die Austrittsgeschwindigkeit und die Temperatur auswirkt. Dabei zeigt sich eine exponentielle Zunahme der Kühltemperatur bei geringem Luftdruck. Dies erklärt die geringere Kühlleistung im Prozess bei mehr als zwei Düsen.

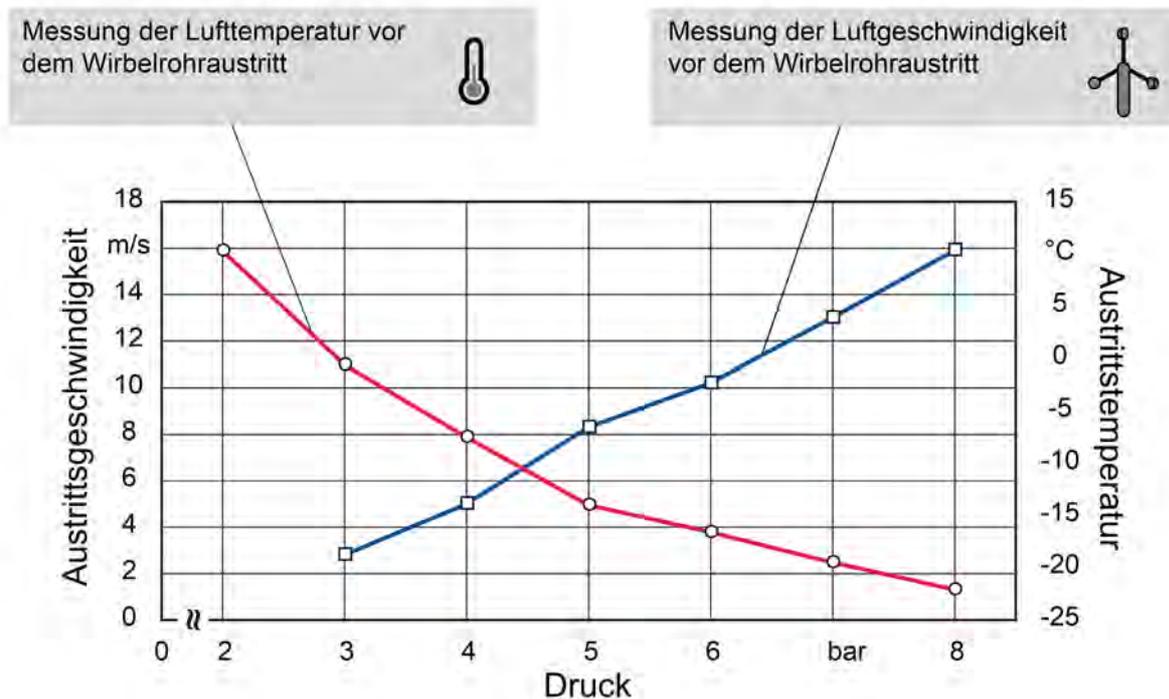


Abbildung 1: Kühltemperatur der Vortex-Düsen in Abhängigkeit des anliegenden Drucks

Zur Quantifizierung der Kühlleistung wurde der Fall der erzwungenen Konvektion angenommen, da das Seil mit hoher Geschwindigkeit in der Kühleinheit umströmt wird. Der durch die Konvektion erzeugte Wärmestrom wird über das Newtonsche Wärmeübergangsgesetz berechnet:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

Dabei beschreibt α den Wärmeübergangskoeffizienten, A die Mantelfläche des Körpers und ΔT die Temperaturdifferenz zwischen Fluidtemperatur und Temperatur des Körpers. Mit steigender Werkzeugtemperatur steigt demnach der Wärmestrom, welcher durch Konvektion erzeugt wird. Zur Berechnung des Wärmeübergangskoeffizienten im erzwungenen Fall gilt folgender Zusammenhang:

$$Nu = \frac{\alpha_e \mathcal{L}}{\nu} = 0,3 + \sqrt{Nu_{lam}^2 + Nu_{turb}^2} \quad (2)$$

Durch Auflösen der Gleichung 2 und Einsetzen in Gleichung 1 kann dann der Wärmestrom in Abhängigkeit der Temperatur hinter dem Werkzeug berechnet werden. Dies ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Temperatur hinter dem Werkzeug kann nicht direkt gemessen werden und ist deshalb hier als Variable aufgeführt. Es zeigt sich, dass eine Kühlleistung von bis zu 640 W möglich

ist. Anhand der bisherigen Ergebnisse konnte der Eingangswärmestrom aus der Kontaktzone in das Werkzeug ermittelt werden. Die Prozessleistung beträgt dabei ca. 4.000 W. Entsprechend der Literatur teilt sich dieser Eingangswärmestrom in der Kontaktzone auf und fließt über die Späne, das Werkstück und das Werkzeug ab. Entsprechend der Literaturkennwerte für den verwendeten Stahl und die Diamanten im Werkzeug fließen ca. 1.250 W der Wärme in die Späne, für das Werkzeug ergibt sich ein Wärmestrom von ca. 2.400 W. Somit entspricht die Kühlleistung der Druckluftkühlung einem maximalen Anteil von etwa 25 %. Daraus folgt eine signifikant geringere thermische Belastung des Schleifwerkzeugs und bestätigt die Ergebnisse der vorherigen Untersuchungen.

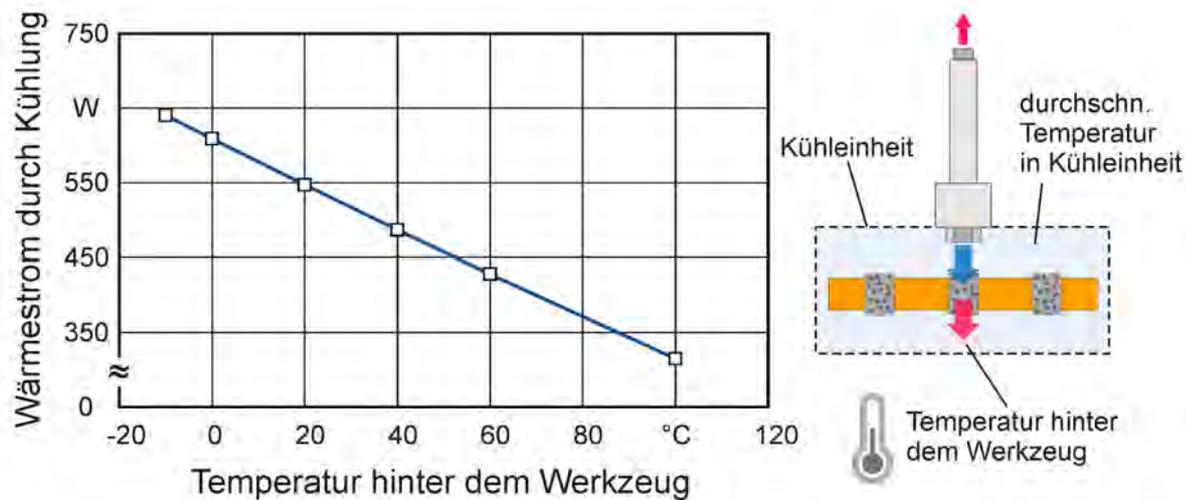


Abbildung 2: Resultierender Wärmestrom der erzwungenen Konvektion

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: Das begonnene Modell zur Vorhersage der Prozesstemperaturen wird weitergeführt und um die Ergebnisse aus AP2 erweitert.

AP5: Es wird mit der Validierung der Leistungsfähigkeit des neuen Modells begonnen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Denkena, B., Krödel, A., Heller, C. (2021): Model based dry wire grinding of steel, 15. Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ (KONTEC), Dresden

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9425A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung (MAARISS) Teilvorhaben: Parametervalidierung zum Tiefenschnitt von hochbewehrtem Stahlbeton und Erprobung eines neuartigen Anbaugeräts zur Rissüberfräsung kontaminierter Wandstrukturen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2020 bis 31.10.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 825.374,50 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing Sascha Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

Im Verbundprojekt „Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung“ („MAARISS“) kooperiert das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) als Forschungseinrichtung mit den Industriepartnern Herrenknecht AG und Kraftanlagen Heidelberg GmbH. Die bereits patentierte Frästrommel soll von ihren aktuellen Dimensionen in eine kompaktere und leichtere Bauweise überführt werden. Ebenfalls soll die Absaugung direkt an der Abtragseinheit erforscht und überarbeitet werden, welches für den finalen Einsatz in einer kerntechnischen Anlage entscheidend ist. Vor Ort sollen Risse in Stahlbetonstrukturen automatisiert überfräst werden, um eine anschließende Freimessung durch das Personal zu ermöglichen.

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 AP2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ wurden die Versuchsreihen an senkrecht zur Fräsrichtung liegenden Bewehrungen am DefAhS-Demonstrator abgeschlossen. In diesen Versuchsreihen wurde sowohl der Stahlschnitt als auch der Betonabtrag untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass auch während des Stahlabtrags Beton abgetragen wird. Außerdem zeigte sich, dass hinter der Bewehrung der Beton nur unzureichend abgetragen wird (während des Betonabtrags) und der Stahlabtrag (während des Stahlschnitts) ungenauer als erwartet ausgefallen ist. Die simultan am Contec-Versuchsstand durchgeführten Versuche zum reinen Betonabtrag konnten zeigen, dass 12-Punkt-Lamellen und optimierte Prozessparameter eine Verbesserung des Abtrags erbringen können. Der DefAhS-Demonstrator wurde bereits hierauf optimiert, die neuen Versuchsreihen stehen noch aus.

Die Probleme der Software der Firma ProNES wurden zudem behoben, sodass ein automatischer Fräsprozess nun durchgeführt werden kann.

Im AP3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ wurde ein finaler Prototyp einer Absaugdüse angefertigt, welche eine Absaugung des Betonstaubs und der Stahlspäne ermöglicht. Die Funktion wurde mit Fräsversuchen am DefAhS-Demonstrator geprüft. Es wurden die Düsengeometrie, die Leistungsdaten des Gebläses und der Massenstrom der abgesaugten Partikel bestimmt. Diese Daten sind eine Grundlage für die weiteren Arbeiten in AP4.

In AP5 wurden die Zusammenhänge zwischen den Vibrationen und dem Freilegungsgrad weiter untersucht, für den Einsatz im Demonstrator jedoch erstmal verworfen, da sich zeigte, dass diese Methode keine eindeutigen Ergebnisse bei unbekanntem Strukturen und neuen Problemen liefern kann. Daher wurde eine gründliche Recherche zu verwendbaren Analysemethoden durchgeführt.

Für AP7 wurde der Transport des Trägergeräts und des Drehgeräts vorbereitet.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Versuche des AP2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ werden mit der neuen Werkzeugbestückung, engerem Spacing und 12-Punktlamellen fortgesetzt. Es wird geprüft, ob diese Werkzeugkonfigurationen den Betonabtrag hinter der Bewehrung verbessern. Die Datenreihen in Stahlbeton mit orthogonal und parallel zur Frästrommel ausgerichteter Bewehrung sollen fertiggestellt werden. Der Abtrag und die Oberflächenbeschaffenheit werden mittels Laserscans gemessen.

Die in AP5 durchgeführten Recherchen zeigen, dass ein zuverlässiges System über einfache Analyseverfahren (wie Hallsonden oder Profometer) schwer zu gewährleisten ist. Daher soll nach einem einheitlichen System gesucht werden, das den hohen Anforderungen Stand hält. Hierfür wird der Markt analysiert und nach passenden Systemen gesucht, sowie Firmen kontaktiert.

Für AP7 ist der Transport des Trägergeräts und des Drehgeräts am Anfang 2023 vorgesehen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Vortrag mit dem Titel „Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung“ auf VDI-Veranstaltung "Rückbau kerntechnischer Anlagen" vom 06.07.-07.07.2022
- Vortrag auf der Konferenz „iCond“ vom 14.-17.11.2022 in Aachen

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9425B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Herrenknecht AG	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung (MAARISS) Teilvorhaben: 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: 420.250,84 €
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.

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 Hinblick auf das Erzielen eines möglichst optimalen Prozessablaufes mit maximaler Abtragsleistung wurden weitere Versuche zur Optimierung der Betriebsparameter und der Werkzeugbestückung im Rahmen des AP2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ an beiden Versuchsständen durch das KIT durchgeführt. Hierbei wurde am DefAhS-Versuchsstand primär der kombinierte Stahlbetonabtrag untersucht. Parallel dazu erfolgten am Contec-Versuchsstand weitere Versuche für den reinen Betonabtrag. Die beim kombinierten Stahl-Beton-Abtrag erzielbaren Abtragsleistungen sind bis dato noch nicht endgültig bestimmt. Desweiteren ist der genaue Prozessablauf für die unterschiedlichen Abtragsituationen auch noch nicht final definiert. Insgesamt wurden mit der neuen und optimierten Werkzeugbestückung gute Erfahrungen gemacht. Allerdings liegen auch noch keine eindeutigen Erkenntnisse hinsichtlich den Einsatzgrenzen sowie den voraussichtlichen Standzeiten für die jeweiligen Abbauwerkzeuge vor.

In diesem Zusammenhng hat die Herrenknecht AG das KIT bei der Ausführung und Auswertung der eingeplanten und durchgeführten Versuchsreihen an beiden Versuchsständen vorwiegend beratend unterstützt.

Der im Halbjahr I/2022 in AP4 „Neuentwicklung eines hochmobilen Anbaugeräts“ gemäß den angepassten Vorgaben neu ausgearbeitete Konzeptentwurf wurde im Rahmen von AP6 „Umsetzung und Integration des neuen Anbaugeräts“ durch die detaillierte 3D-Modellierung im Halbjahr II/2022 weiter bearbeitet. Abgesehen von der konstruktiven Ausarbeitung der Systemkomponenten und Baugruppen wurden im Zuge der mechanischen Projektierung auch die Zukaufteile angefragt und definiert. Parallel dazu erfolgte die Projektierung und Integration der elektrischen Komponenten zu einem Gesamtsystem. Abschließend wurden die jeweiligen Fertigungs- und Zusammenstellungszeichnungen erstellt und die dazugehörigen Stücklisten generiert.

Auf dieser Basis können die jeweiligen Bauteile hinsichtlich der mechanischen Fertigung angefragt und die Artikelanlage für die Bestellung der mechanischen und elektrischen Zukaufteile veranlasst werden.

In diesem Zusammenhang ist jedoch explizit zu erwähnen dass die primäre Zielsetzung betreffend einer kompakten und leichten Bauweise mit dieser Abbaumethode nicht realisiert werden konnte. Zudem ist die nach dem aktuellen Stand der Erkenntnisse erzielbare Abtragsleistung für die entwickelte Hybridfrästechnologie im direkten Vergleich mit

zwischenzeitlich auf dem Markt befindlichen Produkten signifikant geringer. Hierbei ist die jeweilige Standzeit der Abbauwerkzeuge noch nicht berücksichtigt.

Im Rahmen der Bearbeitung des AP3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ wurden durch das KIT weitere praxisnahe Untersuchungen zur Erfassung der Partikelemissionen mit der provisorisch errichteten Einhausung an der Fräswalze des DefAhS-Versuchsstandes durchgeführt. Nach der Umsetzung von mehreren Optimierungsmaßnahmen konnte eine geeignete Geometrie für den Absaugstutzen nachgewiesen werden, welche zumindest eine zufriedenstellende Erfassung der Betonstaub- und Stahlspäne-Partikeln ermöglicht. Die entsprechenden geometrischen Daten der Erfassungsstelle wurden bei der Konzeptausarbeitung für das Absaugungssystem durch die Herrenknecht AG berücksichtigt. Aufgrund den beiden Drehrichtungen beim Fräsprozess werden insgesamt zwei gegenüberliegende Absaugstellen an der konzipierten Einhausung benötigt, um den mehr oder weniger in tangentialer Richtung vorhandenen Auswurf der Grobpartikel für deren Erfassung zu nutzen. In Zusammenhang mit dem Eintauchen der Fräswalze in die Fräsnut bedarf es einer zusätzlichen beidseitigen vertikalen Bewegung der Absaugstutzen an der Absaughaube in die jeweils erforderliche Absaugposition. Dazu befinden sich im ausgearbeiteten Absaugkonzept durch die Herrenknecht AG beidseitig jeweils ein Linearantrieb, welcher im Fräsbetrieb je nach axialer und vertikaler Position der Fräswalze über die entsprechend verbauten Abstandssensoren angesteuert wird.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Halbjahr I/2023 wäre nun die Herstellung, die Montage und die Inbetriebnahme des entwickelten mobilen Anbaugerätes angedacht. Aufgrund der bereits zuvor erwähnten Nichterfüllung von den im Projekt gestellten Zielsetzungen ist die Fortführung der Arbeiten in den jeweiligen noch in Bearbeitung befindlichen Arbeitspaketen nunmehr kritisch zu hinterfragen. Nach interner Bewertung der erzielten Ergebnisse beabsichtigt die Herrenknecht AG die weiteren Aktivitäten zeitnah einzustellen. Diese Thematik wird im Rahmen des nächsten Projekttreffens noch Ende Januar bzw. Anfang Februar gezielt mit den Projektpartnern besprochen. Abschließend ist eine Zusammenfassung der aus den bisherigen Entwicklungsaktivitäten in den einzelnen Arbeitspaketen resultierenden Ergebnisse in Form eines Abschlussberichtes sowie die Bereitstellung von sämtlichen dokumentierten Unterlagen vorgesehen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Vortrag mit dem Titel „Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung“ auf VDI-Veranstaltung "Rückbau kerntechnischer Anlagen" vom 06.07. - 07.07.2022
- Vortrag auf der Konferenz „iCond“ vom 14. - 17.11.2022 in Aachen

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9425C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Kraftanlagen Heidelberg GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung (MAARISS) Teilvorhaben: 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 AP2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ wurden die Versuchsreihen an senkrecht zur Fräsrichtung liegenden Bewehrungen am DefAhS-Demonstrator abgeschlossen. Die Ergebnisse zeigten, dass auch während des Stahlabtrags Beton abgetragen wird.

Eine Verbesserung des Abtrags am DefAhS-Demonstrator wurde, auf Basis der Erkenntnisse des parallel eingesetzten Contec-Versuchsstands, durch den Einsatz von 12-Punkt-Lamellen und optimierten Prozessparametern realisiert. Die Probleme in der Software der wurden zudem behoben, sodass ein automatischer Fräsprozess nun durchgeführt werden kann.

Im AP3 „Absaugungskonzept für den Materialabtransport“ wurde ein finaler Prototyp einer Absaugdüse angefertigt, welche eine Absaugung des Betonstaubs und der Stahlspäne ermöglicht.

In AP5 „Datenerfassung / Integration von Datenanalysen“ wurde eine gründliche Recherche zu verwendbaren Analysemethoden durchgeführt, um die Zusammenhänge zwischen den Vibrationen und dem Freilegungsgrad anwendungsbezogen, zielführend weiter zu untersuchen. Der im Halbjahr I/2022 in AP4 „Neuentwicklung eines hochmobilen Anbaugeräts“ neu ausgearbeitete Konzeptentwurf wurde im Rahmen von AP6 „Umsetzung und Integration des neuen Anbaugeräts“ durch die detaillierte 3D-Modellierung im Halbjahr II/2022 weiter bearbeitet. Die notwendigen Zukaufteile wurden definiert und angefragt. Weiter wurde die Integration der elektrischen Komponenten zu einem Gesamtsystem projiziert.

Für AP7 wurde der Transport des Trägergeräts und des Drehgeräts vorbereitet.

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.

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

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Versuche des AP2 „Schnittprozessanalyse und -verbesserung“ werden mit der neuen Werkzeugbestückung, engerem Spacing und 12-Punktlamellen fortgesetzt. Die Datenreihen in Stahlbeton mit orthogonal und parallel zur Frästrommel ausgerichteter Bewehrung sollen fertiggestellt werden.

Die in AP5 durchgeführten Recherchen zeigten, dass ein zuverlässiges System über einfache Analyseverfahren (wie Hallsonden oder Profometer) schwer zu gewährleisten ist. Daher soll nach einem einheitlichen System gesucht werden, das den hohen Anforderungen Stand hält. Hierfür wird der Markt analysiert und nach passenden Systemen gesucht, sowie Firmen kontaktiert. Für AP7 ist der Transport des Trägergeräts und des Drehgeräts am Anfang 2023 vorgesehen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Vortrag mit dem Titel „Mobiles Anbaugerät zur automatisierten Rissüberfräsung“ auf VDI-Veranstaltung "Rückbau kerntechnischer Anlagen" vom 06.07. - 07.07.2022
- Vortrag auf der Konferenz „iCond“ vom 14. - 17.11.2022 in Aachen

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9429A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie Teilvorhaben: 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 gesteigert. 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 3:

Im Rahmen des dritten Arbeitspaketes wurden einlagige Schleifsegmente im Analogieversuch zur Abschätzung der Kornhaltekräfte unterschiedlicher Bindungssysteme untersucht. Das Werkstück ist mit einer kleinen Steigung von 0,8 % auf dem Dynamometer befestigt, das zur Messung der auftretenden Kräfte verwendet wird. Während eines Versuches rotiert die Ritzscheibe mit einer Drehzahl von 1.316 1/. Der Vorschub ist dabei senkrecht zur Schnittrichtung. Auf diese Weise werden je Korn zwölf Ritze im Abstand von 1 mm mit zunehmender Ritztiefe erzeugt. Anschließend werden die maximal auftretenden Kräfte für die einzelnen Ritze ermittelt. Außerdem wird die Topographie der Ritze mit einem 3D-Profilometer aufgenommen und anschließend die Ritzgeometrie analysiert. In Bild 1 ist die Verteilungshäufigkeit der gemessenen Ritzquerschnitte dargestellt. Wie zu erwarten, nimmt die Häufigkeit der Ritze mit zunehmendem Ritzquerschnitt ab, da mit dem Querschnitt die Belastung für die Körner steigt und diese beim Überschreiten ihrer Belastungsgrenze splintern oder ausbrechen. Da kein Ritz mit einem größeren Querschnitt als 0,008 mm² vorliegt, ist davon auszugehen, dass dies die obere Belastungsgrenze für die hier untersuchten Körner darstellt. Die Untersuchung der eingesetzten Körner mit dem Mikroskop zeigt, dass die Mehrzahl der Körner nicht ausgebrochen, sondern gesplittert sind. Demnach liegt kein Versagen der Bindung vor und somit ist die maximale Kornhaltekraft noch nicht erreicht.

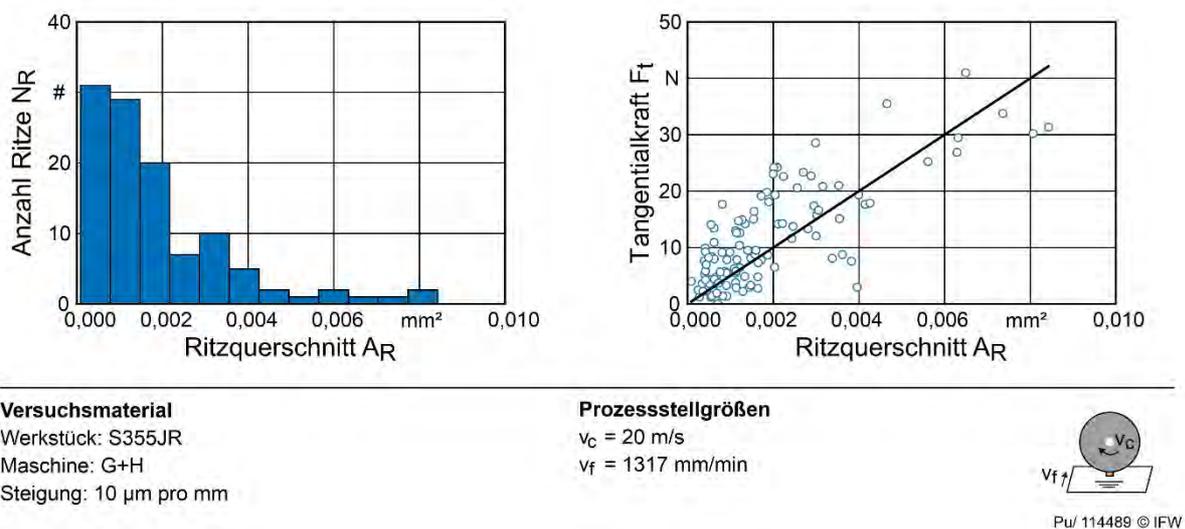


Bild 1: Links: Verteilungshäufigkeit der gemessenen Ritzquerschnitte. Rechts: Zusammenhang zwischen der Tangentialkraft und dem Ritzquerschnitt.

In der rechten Hälfte von Bild 1 ist die Tangentialkraft in Abhängigkeit des Ritzquerschnitts dargestellt. Die Tangentialkraft steigt linear mit zunehmendem Ritzquerschnitt an, bedingt durch die Zunahme von abzutragendem Materialvolumen. Die beiden Größen sind stark korreliert mit einem Korrelationskoeffizient nach Pearson von $r = 0.77$. Die eingezeichnete lineare Regressionsgerade hat eine Steigung von 5.000 N/mm². Der funktionale Zusammenhang zwischen dem Ritzquerschnitt und der Tangentialkraft werden im Simulationsmodell aus AP1 hinterlegt, um dessen Prognosen weiter zu verbessern.

Weiterhin wurden mit diesem Aufbau Schleifuntersuchungen an einzelnen Schleifperlen durchgeführt. Der Aufbau und die gemessenen Kräfte sind in Bild 2 dargestellt. Bei diesen experimentellen Schleifuntersuchungen erfolgt der Vorschub parallel und entgegengesetzt zur Schnittgeschwindigkeit. Dies entspricht der Kinematik des Planumfangsschleifen im Gegenlauf. Als Referenz diente eine konventionelle gelötete Schleifperle.

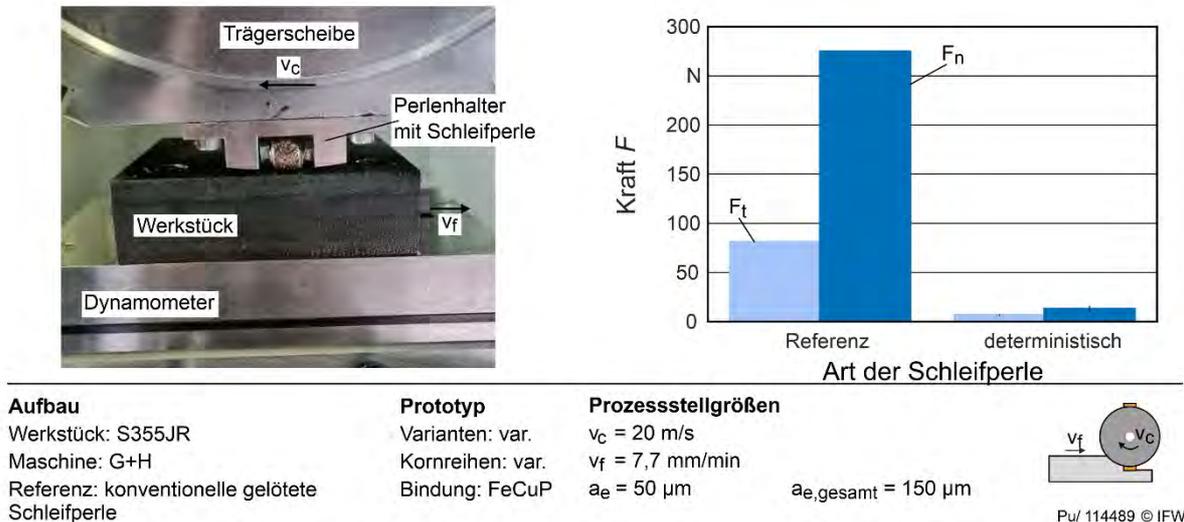


Bild 2: Links: Versuchsaufbau beim Schleifen mit einer Schleifperle gezeigt. Rechts: Kräfte in Abhängigkeit der verwendeten Schleifperlenart.

Es ist zu erkennen, dass beim Einsatz der Schleifperlen mit deterministischem Setzmuster deutlich geringere Prozesskräfte resultieren. Die Normalkraft ist um 95 % und die Tangentialkraft um 91 % reduziert. Dies ist damit zu erklären, dass bei den deterministisch besetzten Schleifperlen weniger Körner im Eingriff sind als bei der konventionellen Schleifperle. Zusätzlich ist bei der deterministischen Schleifperle das Schleifkraftverhältnis, der Quotient aus Tangential- und Normalkraft, um 0,2 Punkte bzw. 66 % größer als bei der Referenzperle. Dies deutet auf einen effizienteren Materialabtrag hin. Allerdings sind nach diesen Versuchen mit einer relativ geringen Gesamtzustellung von 150 μ m bereits erste Kornausbrüche bei den deterministisch besetzten Schleifperlen sichtbar. Das ist damit zu erklären, dass bei den untersuchten Perlen die äußeren Körner zum Teil deutlich aus der Bindung herausragen, was zu einer Verringerung die Kornhaltekraft führt. Dies wurde vom Projektpartner bei der Auslegung der neuesten Designs bereits berücksichtigt und entsprechende Anpassungen des Drucklayouts vorgenommen.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 3: Es werden weitere Einzelkornritzversuche zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Korngrößen durchgeführt. Außerdem sind weitere Schleifversuche mit den neuesten Designs der deterministischen Schleifperlen sowie weitere Referenzversuche geplant.

AP 4: In der ersten Hälfte des nächsten Jahres wird die Fertigstellung der ersten kurzen Seile mit deterministischen Schleifperlen erwartet. Es folgen Einsatzversuche dieser Seile und der Vergleich mit konventionellen Seilen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9429B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) – Institutsteil Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil) Teilvorhaben: Bindungs- und fertigungsspezifische Seilschleifwerkzeugentwicklung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 464.794,30 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Thomas Weißgärber	E-Mail-Adresse des Projektleiters: thomas.weißgaerber@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

Im aufgeführten Berichtszeitraum ist das Ziel der Arbeitspakete, die Herstellung erste Testmuster für die Validierung der Werkzeuge zu forcieren. Auf Basis der bereits vorab erfolgten Evaluierung der Legierungssysteme, der Auslegung der Setzmuster und der Untersuchung und Bewertung der Parameter des avisierten additiven Fertigungsverfahren, sollten in dem Berichtszeitraum Muster für Festigkeitsanalysen sowie Einzeltestperlen für Analogieuntersuchungen erstellt werden. So konnten im Berichtszeitraum die finalen Legierungsbewertungen auf Basis von Härte- und Festigkeitsanalysen abgeschlossen werden und eine Auswahl für die weiteren Arbeiten getroffen werden. Als interessantes Ergebnis kann hierbei gewertet werden, dass auf Legierungen mit entsprechenden Cobalt-Gehalte verzichtet werden kann und doch vergleichbare Festigkeiten der Bindematrix erreicht werden können. Da es sich um additiv gefertigte Proben handelt ist es umso wichtiger, dass im Vergleich zur klassischen Fertigung über Pulverpressen vergleichbare Matrixparameter in der Härte von 100 bis 105 HRBW erreicht werden.

Weiterhin konnten im Berichtszeitraum die Technologiegrundlagen für eine Fertigung über 3D-Druckprozesse weiter ausgebaut und im Rahmen der Drucke von Einzel-Schleifperlen die Parameter für die Prozesse verfeinert werden. Ziel ist hierbei ein konstanter Druckprozess bei maximaler Bau- und minimaler Fehlerrate bei der Setzung von Schneidpartikeln. Aus diesem Grund wurden bei den Entwicklungsarbeiten die relevanten und komplexen Zusammenhänge kontinuierlich und iterativ unter Laborbedingungen verbessert. So konnten für die verschiedenen Legierungssysteme signifikante Verarbeitungs- und Fertigungsparameter evaluiert und bewertet werden. Bezüglich der CBN-Schleifpartikel, welche in die Versuche mit eingebunden wurden, kann gesagt werden, dass das Zusammenspiel von Setzwerkzeugen und Materialparametern ein hoher Grad an Anpassung der am Markt verfügbaren CBN-Partikel voraussetzt. Die getesteten CBN-Partikel lagen bei der relevanten Partikelgrößenangabe mit einem durchschnittlichen Fehler von +37,5 % oberhalb der angegebenen und gelieferten Spezifikationen. Somit ist eine Wareneingangsprüfung und Nachbearbeitung der Schleifpartikel aktuell unabdingbar.

Bei den im Berichtszeitraum erstellten Einzelperlen für Analogietests konnten mit den bereits ausgearbeiteten Setzmusteranordnungen SM-1 (gerade) und SM-2 (schräg) verschiedene CBN-Beladungen von 4,8 vol.-% bis 28 vol.-% umgesetzt und anschließend beim Projektpartner IFW Uni Hannover auf dem Analogieteststand geprüft werden. Bei den Tests hat sich gezeigt, dass die optimale CBN-Beladung sich im Bereich 6 vol.-% bis 12 vol.-% befinden muss. Bei den Tests wurden auch augenscheinliche Fehler in den Setzmustern erkannt, welche anschließend zu den Mustern SM-1-1 (gerade) und SM-2-1 (schräg) umgearbeitet wurden und damit die Basis für die am Ende des Berichtszeitraumes erstellten Musterproben für die Einsatztest darstellen. Wie der Abbildung 1 zu entnehmen ist, wurden 5 CBN-Lagen mit Versatz in den Lagen für die Musterproben verwendet. Zusätzlich wurde eine in der Schleiffläche mittige Anordnung der CBN-Lagen favorisiert, um einen weichen Einlauf und genügend Einlaufzone in der Einzelperle unter dem Schleifprozess zu generieren. Auf dieser Basis wurden dann Schleifperlenproben gefertigt und für die Erstellung von Testseilen den Projektpartnern bereitgestellt. Hierfür wurden vorab in einem Projektmeeting die favorisierte CBN-Variante und zwei Legierungssysteme für die Bindematrix im Projektkonsortium festgelegt.

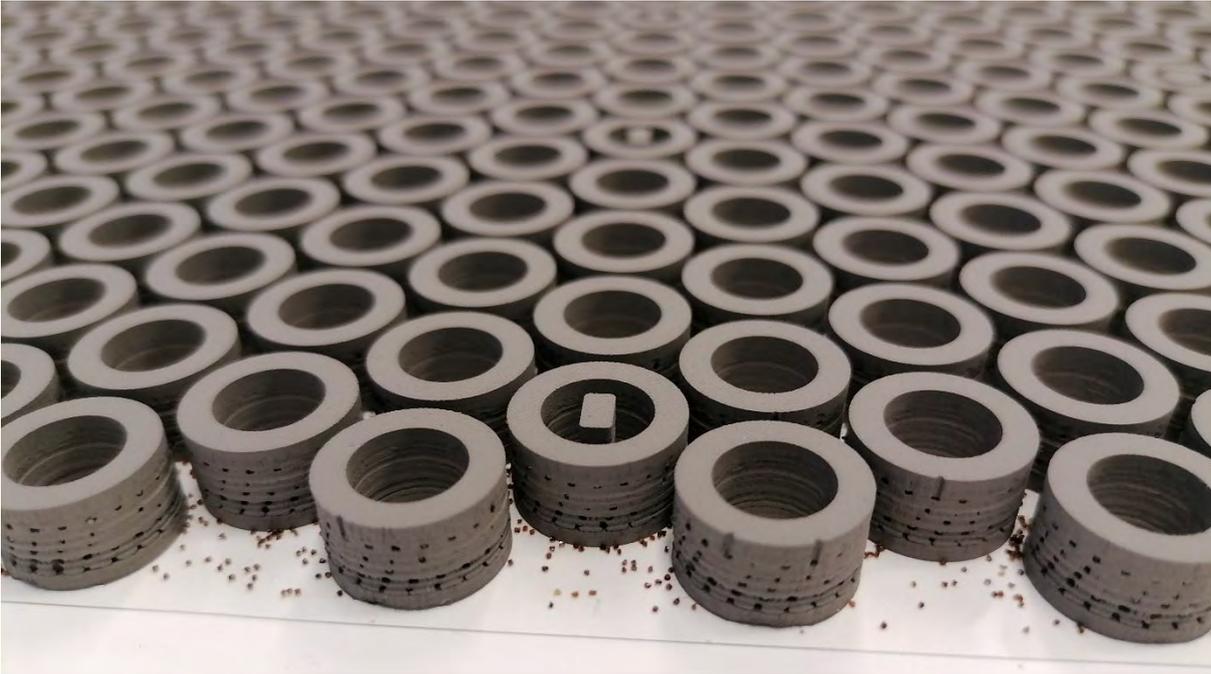


Abbildung 3: Schneidperlenkörper mit 5 CBN-Lagen direkt nach dem 3D Druck unter Laborbedingungen für die Schleifseil-Einsatztest. ©Fraunhofer IFAM

4. Geplante Weiterarbeit

AP2.1 und AP2.2: Mit Durchführung der ersten Anwendungstest auf einen Versuchsstand, werden die bereits in Arbeit befindlichen Setzmuster und Schleifperlengeometrien weiter optimiert und in eine iterative Anpassung eingebunden. Weiterhin werden bezüglich der Fertigungsparameter weitere Untersuchungen zu den Wärmebehandlungsverfahren durchgeführt, um eine energieeffiziente und Materialparameter optimierte Behandlung zu erreichen.

AP3.3: Die Entwicklung der hybriden Schleifsegmente wird hin zu optimierten Geometrieparametern der Schleifperlen geführt.

AP3.4: In diesem Arbeitspaket ist die Fertigung von Testperlen für die Erstellung von Schleifseilen für die weiteren Einsatz- und Validierungstest vorgesehen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9429C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CEDIMA Diamantwerkzeug und Maschinenbaugesellschaft mbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie Teilvorhaben: Einfluss der Verwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung auf die im industriellen Rückbau verwendete Maschinenteknologie	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 56.618,71 €
Projektleiter/-in: Mirko Kniese	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: mirko.kniese@cedima.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

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

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

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

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

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

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

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

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

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

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

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 um andere Geometrien erweitert. Der Verschleiß des Einzelkorns ist nun integriert, um auch nach einem Kornversagen Aussagen über das Schleifverhalten des Setzmusters zu tätigen. Diese Ergänzungen ermöglichen eine differenzierte Simulation des Schleifprozesses.

In der Diskussion ergaben sich weitere mögliche Erweiterungen, wie das Schwingungsverhalten des Seiles und die Rotation.

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, wurde 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. Zwei Bindungssysteme sind ausgewählt.

AP 4: Die Parameter für die ersten kurzen Testseile sind festgelegt und es wird zeitnah mit der Produktion begonnen. Ermittlung von geeigneten Vergleichsseilen für die Referenzversuche.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1.1: Das Simulationsmodell wird stetig erweitert und angepasst.

AP 1.2: Es werden weitere Simulationen mit dem Ziel der optimalen Setzparameter und Korngrößen durchgeführt. Zusätzlich werden Simulation mit den neu erarbeiteten Parametern durchgeführt.

AP 3: Die ausgewählten Bindungssysteme werden am IFW auf der Laboranlage mit kurzer Seillänge getestet. Die ersten Referenzschnitte im Stahl sollen mit Wettbewerbsseilen unter Realbedingungen durchgeführt werden.

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

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 1559429D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CCD Diamanttechnik	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie Teilvorhaben: Anwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung im industriellen Rückbau	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 51.151,28 €
Projektleiter/-in: Uwe Gerecke	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: ug@ccd-diamanttechnik.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe
Entwicklung eines parametrischen Simulationsmodells des Seilschleifens für die Auslegung deterministischer Kornanordnungen. Parallel dazu werden geeignete Bindungswerkstoffe für die Herstellung mehrlagiger Schleifsegmente im Siebdruckverfahren identifiziert.
- AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen
Untersuchung der fertigungstechnischen Realisierbarkeit verschiedener Schleifkornmuster und Herstellung von Prototypen mit ausgewählten Setzmustern.
- AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung
Untersuchung der hergestellten Schleifperlen mittels einer Ritzscheibe und iterative Anpassung der Werkzeuge. Optimierung des Herstellprozesses und Entwicklung hybrider Schleifsegmente.

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

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

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

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

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

Im zweiten Halbjahr 2022 hat CCD Diamanttechnik mehrere Einsätze auf Baustellen und im industriellen Bereich mit Seilschleifmaschinen ausgeführt. Die modulare Portalsäge konnte dabei leider nicht eingesetzt werden, da die räumlichen Verhältnisse an den Einsatzorten sehr beengt waren oder nur über Gerüste zugänglich.

Bestätigt wurde das oft problematische Verhalten handelsüblicher Schleifseile an komplexen und teils instabilen Stahlkonstruktionen, wie Behältern und Wärmetauschern. An scharfen Kanten und bei ungünstigem Angriffswinkel ist Werkzeugversagen durch Seilabrisse oder Aufschieben der Schleifperlen ein wiederkehrendes Problem.

Die für das zweite Halbjahr 2022 geplanten Probeschnitte mit handelsüblichen Schleifseilen in die bereits vorhandene Stahlwalze und weitere Probekörper konnten wegen krankheitsbedingter Personalengpässe nicht im geplanten Umfang ausgeführt werden.

Mit dem Projektpartner Cedima wurde der Einsatz einer neuen leistungsstarken Speicherseilsäge besprochen.

Mehrere Probekörper aus Stahl, Kupfer, Aluminium, Zink und Blei sowie verschiedenen Verbundwerkstoffen wurden beschafft und vorbereitet.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Sobald Siebseile in geeigneten Längen ab ca. 6,50m zur Verfügung stehen, wird CCD zunächst Schnitte in die vorhandenen Probekörper ausführen und Einsätze bei geeigneten Industrieprojekten vorbereiten und durchführen.

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: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9429E
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: DIABÜ-Diamantwerkzeuge Heinz Büttner GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie Teilvorhaben: 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 externe Pasten- und Druckversuche initiiert.

Die extern beauftragten Werkzeuge wurden direkt bei 3 Kunden im Produktionsprozess getestet. Aktuell sind diese Werkzeuge noch im Einsatz und es wurden weitere Diamantsägeeseile mit den extern hergestellten Schneidperlen beauftragt. Die 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. Die Laboruntersuchungen mit dem Mikroskop machten deutlich, dass im Vergleich zu Diamantpartikeln die CBN-Partikel wesentlich schwieriger in die Kavitäten der Bindungsmatrix passen. Das liegt in erste Linie an der gestreckten und ungleichmäßigen Kornform vom CBN (Cubisches BorNitrid). Die Anpassung der Sinterparameter brachte nur eine geringe Verbesserung der erzielten Gefügedichte.

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.

Die daraufhin initiierten Versuche mit neuen Bindungsmaterialien, die bei tieferen Sintertemperaturen $\leq 900^{\circ}\text{C}$ mit Flüssigphasen die Schleifpartikel dichter umschließen, sind vielversprechend und werden weiterhin favorisiert.

Erste Probemuster sind gefertigt und sollen ebenfalls im Sägeversuch eingesetzt werden.

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.

Bedingt durch die noch zu offene porige Struktur der DIABÜ-Prototypen, wurden die Versuch auf dem IFW-Prüfstand erstmal zurückgestellt.

Sowie die Bindungsmatrix den Diamant und/oder das CBN dichter umschließt, werden diese Versuche nachgeholt.

Beispielbilder Mikroskopierarbeiten DIABÜ



Anordnung CBN radial auf Schneidperle



CBN auf Oberfläche offene Kavitäten



Bruchgefüge CBN Schneidperle



Bruchgefüge CBN mit offenen Kavitäten

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9430A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Werkstoffkunde	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogentrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilvorhaben: 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 weiter zu entwickeln 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 Arbeitspaket A/3 wurden neben den Eisenbasiswerkstoffen die Untersuchungen auf Kupferbasislegierungen ausgeweitet. Vor dem Hintergrund der hohen elektrischen Leitfähigkeit sind diese Werkstoffe interessant für die Anwendung als Elektrode. Im ersten Schritt konnten einfache dreidimensionale Strukturen erzeugt werden. Dafür wurden sowohl draht- als auch pulverbasierte Zusatzwerkstoffe verwendet, um die große Flexibilität in der Legierungsbildung zu behalten.
- Zur Untersuchung der anwendungsrelevanten Eigenschaften in Arbeitspaket A/4 wurden verschiedene Stationen erarbeitet, an denen die entsprechenden Untersuchungen durchgeführt werden können. Neben der Härte gehörte dazu besonders die elektrische Leitfähigkeit. Darüber hinaus wurde ein Modellexperiment geplant, welches die Reaktion des Werkstoffs auf einen Lichtbogen untersuchen soll, um erste Aussagen bereits vor den Schneidversuchen treffen zu können.
- Im Rahmen des Arbeitspaketes A/3 wurde die Anlage um eine Luftkühlung erweitert. Mit der Hilfe eines Magnetventils konnte eine flexible Integration in den Prozessablauf realisiert werden. Bei kleineren Strukturen wurde die Kühlung nur in den Schweißpausen verwendet, um eine mögliche Einflussnahme auf die Schutzgasatmosphäre unterhalb des Lasers zu vermeiden. Bei der Fertigung einer CAMG-Elektrode kann gleichzeitig auf der einen Seite der Scheibe geschweißt werden, während die gegenüberliegende Seite gekühlt wird.
- Zu Beginn von Arbeitspaket A/5 wurde ein Programmablauf für den Schweißprozess entworfen. Hierbei wurde auf die Ergebnisse aus Arbeitspaket A/3 zurückgegriffen, um geometrische Daten wie die Nahtbreite und -höhe zu implementieren. Diese ist werkstoffabhängig und erfordert damit eine Anpassung der Bahnplanung bei jedem Werkstoff.
- Von den in Arbeitspaket B/2 konstruktiv erstellten Bauteilen wurden die noch fehlenden Fertigungszeichnungen abgeleitet und zur Fertigung in die Werkstatt des Institutes weitergeleitet. Die Auswahl der Zukaufteile wurde nach Erhalt der nötigen Angebote abgeschlossen.

- Arbeitspaket B/3 wurde abgeschlossen. Dazu wurde die Konstruktion der Bauteile des Stromübertragungsmoduls in der Software SolidWorks und die dazugehörige Anfertigung der Fertigungszeichnungen fertig gestellt. Die benötigten Halbzeuge wurden bestellt und der Werkstatt zur Fertigung übergeben.
- In Arbeitspaket B/4 wird der Fokus auf ein System zum schnellen unkomplizierten Wechsel der Elektrode gelegt. Dazu wurde bereits eine Recherche betrieben in der verschiedene Systeme verglichen wurden. Eine erste Auswahl der möglichen Mechanismen wurde getroffen und auf den Anwendungsfall angepasst. Dies wird aktuell mit dem Projektpartner EWN geprüft und unter Betrachtung des Einsatzgebietes und den dort vorherrschenden Möglichkeiten bewertet.
- Der Aufbau und die Inbetriebnahme der Technikumsanlage erfolgt in dem Arbeitspaket B/5. Dazu wurden bereits die ersten gefertigten Bauteile aus den Arbeitspaketen B/2 und B/3 mit den entsprechenden Kaufteilen zu Baugruppen zusammengebaut und einzeln auf ihre Funktion geprüft. Dabei steht z.B. bei den rotierenden Teilen wie der Antriebswelle vor allem eine genaue Lagerung mit möglichst geringen Reibungsverlusten im Vordergrund die dennoch die benötigte Kraftübertragung auf die rotierende Elektrode gewährleistet.
- In Arbeitspaket C/1 wurde unter Verwendung der erstellten Gesamtdokumentation ein Anforderungsprofil beschrieben und eine Diskussion der Genehmigungsfähigkeit angestoßen. Die Bearbeitung der Arbeitspakete aus dem Arbeitspaket Komplex C läuft parallel zu den anderen beiden Komplexen und wird ständig fortgeführt.
- Im Projekttreffen wurde mit dem Projektpartner EWN im Rahmen des Arbeitspaketes C/1 über die Vorprüfungsunterlage (VPU) die für die Genehmigung des Einsatzes der CAMG-Technik zum Rückbau von KTA benötigt und erstellt werden muss gesprochen. Die einzelnen Punkte die Inhalte dieser Unterlage wurden festgelegt und werden im weiteren Projektverlauf ausgearbeitet und immer wieder mit dem Projektpartner abgestimmt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Neben der Untersuchung von Kupferbasislegierungen sollen im nächsten Schritt warmfeste Legierungen auf der Basis von Cobalt und Nickel untersucht werden. Diese besitzen zwar eine geringere elektrische Leitfähigkeit, weisen jedoch verbesserte Eigenschaften in Bezug auf den thermischen Verschleiß auf. Die Vorgehensweise der Untersuchungen ist vergleichbar mit den Kupferbasiswerkstoffen.
- Aufgrund der Ergebnisse in Arbeitspaket A/2 sind über geeignete Legierungen hinaus ebenfalls Verbundwerkstoffe zu betrachten. Dabei sollen verschiedene Konzepte für eine Umsetzung mit draht- und/oder pulverbasierte Zusatzwerkstoffe erarbeitet und nach den Vorgaben der Arbeitspakete A/3 bis A/5 getestet werden.
- Im Rahmen von Arbeitspaket A/6 werden erste Scheiben auf Basis der untersuchten Werkstoffe getestet. Dabei wird darauf geachtet, eine vergleichbare Methodik wie in der Literatur zu verwenden, um die Ergebnisse einordnen zu können. Dies bezieht die Größe des Schweißguts und die geplanten Untersuchungen mit ein.
- In Arbeitspaket B/4 wird mit dem Projektpartner der Mechanismus des Spannsystems für die Elektrode abgesprochen. Im nächsten Schritt soll eine Wahl für das einzusetzende System getroffen werden und dieses konstruktiv in die Anlage integriert werden.
- Der Aufbau und die Inbetriebnahme der Technikumsanlage soll in dem Arbeitspaket B/5 erfolgen. Dazu wurden bereits die ersten gefertigten Bauteile aus den Arbeitspaketen B/2 und B/3 mit den entsprechenden Kaufteilen zu Baugruppen zusammengebaut und einzeln auf ihre Funktion geprüft. Dies wird je nach Fertigungsstand fortlaufend weitergeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es kann zurzeit kein Bezug zu anderen Vorhaben hergestellt werden.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Für den aktuellen Berichtszeitpunkt liegen keine Veröffentlichungen vor.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9430B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogentrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilvorhaben: 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 Rolle 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 weiter zu entwickeln 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 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 den Projektpartnern 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)

- Basierend auf den wissenschaftlichen Recherchen zu den Werkstoffsystemen wurden die aktuellen Erkenntnisse aus dem Arbeitspaket A/2 mit der UWTH weiterführend thematisiert, bewertet und sich über weitere Auswahl Tendenzen verständigt. Im Ergebnis dieser vorliegenden Erkenntnisse werden in den Einzelbetrachtungen grundlegende Werkstoffkriterien zur konstruktiven Ausführung der Schneidelektrode analysiert und als Planungsansatz final untersucht. Mit Einsatz der eisenbasierten Werkstoffe für die Schneidelektroden wurden weiterführende Untersuchungen mit Materialien auf

Kupferbasislegierung ausgeweitet. Vor dem Hintergrund der hohen elektrischen Leitfähigkeit sind diese Werkstoffe interessant für die Anwendung als Elektrode. Im ersten Schritt konnten einfache dreidimensionale Strukturen erzeugt werden. Dafür wurden sowohl draht- als auch pulverbasierte Zusatzwerkstoffe verwendet, um die große Flexibilität in der Legierungsbildung zu behalten.

- Zur Untersuchung der anwendungsrelevanten Eigenschaften in Arbeitspaket A/4 wurden verschiedene Stationen erarbeitet, an denen die entsprechenden Untersuchungen durchgeführt werden können. Neben der Härte gehörte dazu besonders die elektrische Leitfähigkeit. Darüber hinaus wurde ein Modellexperiment geplant, welches die Reaktion des Werkstoffs auf einen Lichtbogen untersuchen soll, um erste Aussagen bereits vor den Schneidversuchen treffen zu können.
- Zu Beginn von Arbeitspaket A/5 wurde ein Programmablauf für den Schweißprozess entworfen. Hierbei wurde auf die Ergebnisse aus Arbeitspaket A/3 zurückgegriffen, um geometrische Daten wie die Nahtbreite und -höhe zu implementieren. Diese ist werkstoffabhängig und erfordert damit eine Anpassung der Bahnplanung bei jedem Werkstoff.
- Von den in Arbeitspaket B/2 konstruktiv erstellten Bauteilen wurden die noch fehlenden Fertigungszeichnungen abgeleitet und zur Fertigung in die Werkstatt des Institutes weitergeleitet. Die Auswahl der Zukaufteile wurde nach Erhalt der nötigen Angebote abgeschlossen.
- Nach Abschluss Arbeitspaket B/3 wurde die Konstruktion der Bauteile des Stromübertragungsmoduls in der Software SolidWorks und die dazugehörige Anfertigung der Fertigungszeichnungen fertig gestellt. Die benötigten Halbzeuge und Einsatzmaterialien sind im Beschaffungsprozess.
- In Arbeitspaket B/4 wird der Fokus auf ein System zum schnellen unkomplizierten Wechsel der Elektrode gelegt. Dazu wurde bereits eine Recherche betrieben, in der verschiedene Systeme verglichen wurden. Eine erste Auswahl der möglichen Mechanismen wurde getroffen und auf den Anwendungsfall angepasst. Dies wird aktuell zwischen den Projektpartnern UWTH/EWN geprüft und unter Betrachtung des Einsatzgebietes und den dort vorherrschenden Möglichkeiten bewertet.
- Der Aufbau und die Inbetriebnahme der Technikanlage erfolgt in dem Arbeitspaket B/5. Dazu wurden bereits die ersten gefertigten Bauteile aus den Arbeitspaketen B/2 und B/3 mit den entsprechenden Kaufteilen zu Baugruppen zusammengebaut und einzeln auf ihre Funktion geprüft.
- In Arbeitspaket C/1 wurde unter Verwendung der erstellten Gesamtdokumentation ein Anforderungsprofil beschrieben und eine Diskussion der Genehmigungsfähigkeit angestoßen. Die Bearbeitung der Arbeitspakete aus dem Arbeitspaket Komplex C läuft parallel zu den anderen beiden Komplexen und wird ständig fortgeführt.
- Im Projekttreffen wurde mit dem Projektpartner UWTH im Rahmen des Arbeitspaketes C/1 über die Vorprüfungsunterlage (VPU), die für die Genehmigung des Einsatzes der CAMG-Technik zum Rückbau von KTA benötigt und erstellt werden muss, gesprochen. Die einzelnen Punkte und Inhalte dieser Unterlage wurden festgelegt und werden im weiteren Projektverlauf ausgearbeitet und immer wieder mit dem Projektpartner abgestimmt.
- Ausführung des Arbeitspaketes B/1, B/2 und B/4
 - Erstellung und Entwicklung von 3D-Konstruktionsunterlagen zur Darstellung und Bewertung der Baustrukturen bzw. Einrichtungskomponenten
 - Erstellung von CAD-Modellen zur weiteren Bewertung bezüglich Konstruktionsdetails zur Raum und Lagebestimmung der Einrichtung im Anwendungsprozess
 - Konstruktionsplanungen einschl. Fertigungsdokumentation von Mockups

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Vorstellung der UWTH-Erprobungsergebnisse im Rahmen von Arbeitspaket A/6 mit den ersten Testscheiben auf Basis der untersuchten Zusatz- und Legierungswerkstoffe
- In Arbeitspaket B/4 wird mit dem Projektpartner UWTH der Mechanismus des Spannsystems für die Elektrode gemeinsam ausgelegt und final abgestimmt. Im nachfolgenden Schritt wird die Wahl für das einzusetzende System festgelegt und konstruktiv für diese Anlage ausgewiesen.
- Der weiterführende Aufbau und Inbetriebnahme der Technikanlage wird im Arbeitspaket B/5 erfolgen. Dazu wurden bereits die ersten gefertigten Musterbauteile aus den Arbeitspaketen B/2 und B/3 in Kombination mit entsprechenden Kaufteilen zu Baugruppen erstellt und einzeln auf ihre Funktion geprüft. Dies wird je nach Fertigungsstand fortlaufend weitergeführt.
- Weiterführung des Arbeitspaketes B/1, B/2 und B/4
 - Erstellung und Entwicklung von 3D-Konstruktionsunterlagen zur Darstellung und Bewertung der Baustrukturen bzw. Einrichtungskomponenten
 - Erstellung von CAD-Modellen zur weiteren Bewertung bezüglich Konstruktionsdetails zur Raum und Lagebestimmung der Einrichtung im Anwendungsprozess
 - Konstruktionsplanungen einschl. Fertigungsdokumentation von Mockups

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es kann zurzeit kein Bezug zu anderen Vorhaben hergestellt werden.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Für den aktuellen Berichtszeitpunkt liegen keine Veröffentlichungen vor.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9434A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden, 01062 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus Teilvorhaben: Entwicklung von Werkzeugen zur 1n-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 Bohrkernkerne 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,
- Alternative 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: Im zurückliegenden Projektzeitraum wurden durch TUD-PBM unter Nutzung von Simulationsergebnissen auf Basis von COMSOL®-Multiphysics verschiedene potentiell geeignete Elektrodengeometrien ermittelt, um Feuchtigkeit und Porosität in engen Borlöchern im Beton mittels Impedanz-Spektroskopie zu bestimmen. Um die Simulationsergebnisse zu verifizieren, laufen derzeit Experimente unter Variation des Feuchtigkeitsgehaltes an Betonproben (mit und ohne Armierungseisen), welche von TUD-IfB bereitgestellt wurden, mittels eines kommerziellen Impedanz-Spektrometers der Firma „Sciospec“. Erste Ergebnisse zeigen eine gute qualitative Übereinstimmung von Simulation und Experiment. Leider sind die Messergebnisse aber noch relativ störanfällig, was durch eine weitere Verbesserung des Experimentalaufbaus behoben werden muss. Außerdem wurde ein erster mechanischer Prototyp für die Applikation der Messsonde im Bohrloch entwickelt und aufgebaut. Der Elektrodenanpressmechanismus basiert auf einem pneumatisch aufgeblasenen Balg.

Am IKTP wurde der Prototyp der faseroptischen Sonde durch den Einsatz eines sehr dicken Lichtleiters mit dem Durchmesser 18 mm erweitert, wodurch auch der Einsatz eines größeren Szintillationskristalls möglich ist. Dadurch wird eine sehr viel größere Empfindlichkeit des Systems erreicht. In Laborbedingungen ist der Nachweis der spezifischen Aktivität von Cäsium in der Nähe der Freigabegrenzen möglich. Die Messelektronik wurde überarbeitet, womit sich sehr viel bessere Bedingungen für den Einsatz in einem handgehaltenen Gerät ergeben.

AP 2: Im Berichtszeitraum wurde mit der Software COMSOL®-Multiphysics der Energieeintrag in die Betonoberfläche während des Laserprozesses simuliert. Mit der Modellierung wurde nachgewiesen, dass die im Laserprozess erzeugten Temperaturen zur Erzeugung von Plasma ausreichen. Dies ist für die angestrebte synchrone Messung der Spektren entscheidend. Das erstellte Modell soll weiterhin mit dem Modul für Massetransport gekoppelt werden, um die

Angaben zum Plasmazustand zu vervollständigen. Die ersten Untersuchungen zur Nutzung eines optischen Spektrometers zur Detektion von Bor waren bisher nur teilweise erfolgreich, da die erzeugten Signale noch nicht für eine Auswertung ausreichen. Diese Arbeiten sollen weitergeführt werden. Die im 1. Halbjahr 2022 konstruierte Bearbeitungsbox zur Durchführung von Laborversuchen mit integriertem Massenspektrometer wurde in der Werkstatt der Fakultät Maschinenwesen gefertigt und steht für die Experimente im Projekt zur Verfügung.

Für den vorhandenen Teststand mit integriertem Laser stehen seit dem 3. Quartal neue Versuchsräume zur Verfügung. Der Teststand wurde in das speziell für Laser-Dekontaminationsversuche vorgesehene Versuchsfeld transportiert, wiederaufgebaut und in Betrieb genommen. Mit den Projektpartnern TUD-IfB und VKTA wurde die Bereitstellung von Betonproben abgestimmt und es liegen Original-Betonproben aus dem KKW-Unterweser zur weiteren Bearbeitung vor.

AP 3: Die von KKW erhaltenen Betonproben werden mit mehreren modernen Techniken analysiert. Aufgrund des Vorhandenseins von Hochofenschlacke im Beton wurde eine petrographische Analyse verwendet, um die Zusammensetzung des Betons und die Korngrößenverteilung der Zuschlagstoffe abzuschätzen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Beton eine unbedeutende Anzahl von Mikrorissen in der Matrix aufweist, jedoch relativ größere Hohlräume, die zufällig an der Grenzfläche der Matrix und einiger Aggregate angeordnet sind, beobachtet werden. Die Zuschlagstoffe stammen aus mehreren Quellen, und die Korngrößenverteilung ist als „Gap Graded“ festgelegt.

AP 4: Während des dritten Projekttreffens am KKW (Kernkraftwerk Unterweser) am 5./6. Oktober 2022 wurden zudem wichtige Informationen zur Visualisierung und Kartierung der Ergebnisse zwischen den Projektpartnern TUD-PBM, PEL und VND besprochen und ausgetauscht. Von VND wurden Informationen zur bisherigen Datenaufnahme bzw. Messwertprotokollierung bereitgestellt. Darauf basierend wurden verschiedene mögliche Visualisierungsprototypen für eine zukünftige Messdatenaufbereitung erstellt und testweise als ParaView- und FreeCAD-Script implementiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1: Im AP 1 werden vor allem die experimentellen Arbeiten zur Optimierung geeigneter Elektrodengeometrien für die Impedanz-Spektroskopie vorangetrieben. Hierfür wurde bei TUD-IfB eine zweite Charge von Betonproben angefragt, welche identische Stoffwerte und Morphologien (Zement, Sand, Korngrößen, Zuschlagstoffe) wie die gelieferten Bohrkernproben aus dem KKW aufweisen. Es wird zudem erwogen, die Experimente mittels eines Spectrum Analyzers auch in einem höheren Frequenzbereich durchzuführen. Darüber hinaus werden die Arbeiten zur Radartechnik fortgesetzt.

Am IKTP werden quantitative Untersuchungen der Länge des Lichtleiters durchgeführt. Weiterhin wird der handgehaltene Prototyp für den Einsatz im Kernkraftwerk ertüchtigt. Messungen am Standort KKW werden zeitnah erwartet. Die Datenanalyse wird unter dem Aspekt „Entscheidungsmessung“ weiter optimiert und an die realen Bedingungen, insbesondere Variation im zu erwartenden Untergrund, optimiert werden.

AP 2: Die Komplettierung des vorhandenen Teststandes mit dem innerhalb dieses Projektes finanzierten Faserlaser TruPulse nano ist nahezu abgeschlossen, die Inbetriebnahme des Lasers erfolgt noch im Januar 2023. In einer studentischen Arbeit soll eine Parameterstudie zur

Optimierung des Betonabtrages mit diesem Laser durchgeführt werden, um die Beton-Abtragsmenge zu optimieren. Im Ergebnis sollen die Prozessparameter definiert werden, mit denen ein möglichst hoher Materialabtrag realisiert werden kann. Anschließend soll mit dem Projektpartner VKTA abgestimmt werden, ob die mittels Faserlaser bereitgestellte Materialmenge für die analytischen Untersuchungen ausreicht. Weiterhin sollen die mittels Faserlaser erzeugten Spektren mittels optischen Spektrometers untersucht werden, um daraus die Eignung des optischen Spektrometers für die Analyse abzuleiten.

AP 3: Der Beton, der die Betoneigenschaften am KKU repräsentiert, wird gegossen, um die Transporteigenschaften zu untersuchen. Es werden Durchlässigkeits-, Sorptions- und Diffusionstests durchgeführt und insbesondere der Einfluss kalter Fugen untersucht. Schließlich wird eine numerische Simulation durchgeführt, um den Transport von Radionukliden im Beton abzuschätzen.

AP 4: In den kommenden 6 Monaten sollen nicht nur die Anforderungen bezüglich der Visualisierung konkretisiert und spezifiziert, sondern auch die zu nutzenden Datenformate festgelegt und zusätzliche Visualisierungswerkzeuge evaluiert werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Nurjahan, T.; Schleicher, E.; de Assis Dias, F.; Hampel, U., Investigation of complex electrical properties of concrete: A numerical model analysis, In: Proceedings of 15th International Workshop on Impedance Spectroscopy, 27.-30.09.2022, Chemnitz, Germany, pp. 7-9, IEEE Open Access, DOI: 10.1109/IWIS57888.2022.9975127.

Döhler, D., Alshut, L., König, L., Teichmann, T., Werner, T. & Kormoll, T., Characterization of a Fiber Optic Radiation Sensor Prototype for Nuclear Dismantling, 1 Aug 2022, In: IEEE transactions on nuclear science. 69, 8, pp. 1884-1892 9 p., 9825667.

Alshut, L., Modell für den Strahlendurchgang in Abhängigkeit der Betonzusammensetzung im kerntechnischen Rückbau, <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-826017>, 2022.

Dawoud, M. et al., Rohrgängige laserbasierte Probenahmesonde zur In-situ Analyse radioaktiver Kontamination im Beton und nuklidspezifischen Aktivitäten, Poster für PEL-Führungskräftemeeting in Landshut, 13.-15. September 2022, Landshut.

Zuarbeit zur Präsentation / Paper auf der Waste Management Conference 2023.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9434B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., D-01328 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus Teilvorhaben: 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 (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im betrachteten Projektzeitraum liefen vorbereitende Arbeiten zur Erstellung gezielt kontaminierter Betonprobenkörper.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Fortführung der oben genannten AP.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

noch keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	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: 225.142,97 €
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 Bohrkernkerne 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 1: Im zurückliegenden Projektzeitraum wurden durch den Projektpartner TUD-PBM verschiedene potenziell geeignete Elektrodengeometrien ermittelt, um Feuchtigkeit und Porosität in engen Borlöchern im Beton mittels Impedanz-Spektroskopie zu bestimmen. Um die Simulationsergebnisse zu verifizieren, laufen derzeit Experimente unter Variation des Feuchtigkeitsgehaltes an Betonproben (mit und ohne Armierungseisen), welche von TUD-IfB (mit beispielhafter Zusammensetzung) bereitgestellt wurden. Die Experimente liefen bisher im Labormaßstab. Eine Bewertung der Technik hinsichtlich Nachweisbarkeit und Handhabbarkeit und Berücksichtigung der Untergrundstrahlung soll nun auch am Kraftwerksstandort erfolgen. Da es sich bei dem Feldtest zunächst lediglich um eine Handhabbarkeit handelt, werden experimentelle Untersuchungen gemäß ALARA-Prinzip (*As Low As Reasonably Achievable*) aus radiologischen Gründen vorerst nicht an der Kalotte im Gebäudesumpf des Kernkraftwerks durchgeführt. Stattdessen soll die Messtechnik zunächst an originalem Kernkraftwerksbeton aus dem Reaktorgebäude an bereits freigemessenen Klötzen außerhalb des Kontrollbereichs erprobt werden. Die Vorbereitungen dazu laufen.

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 abgeschlossenen Arbeiten zum Ausbau des Kalottenbetons (der Südpol wurde freigelegt) sind die Planungen auf das Kernkraftwerk Unterweser übertragen worden, das vor der gleichen Problematik steht. Zur Bestimmung der

Betoneigenschaften wurde den Projektpartnern eine Bohrkernprobe aus dem Kalottenbereich des Kernkraftwerks Unterweser (KKU) zur radiologischen Bewertung übersandt.

Die von KKU versendete Betonprobe wurde von den Projektpartnern mit mehreren modernen Techniken analysiert. Aufgrund des Vorhandenseins von Hochofenschlacke im Beton wurde eine petrographische Analyse verwendet, um die Zusammensetzung des Betons und die Korngrößenverteilung der Zuschlagstoffe abzuschätzen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Beton eine unbedeutende Anzahl von Mikrorissen in der Matrix aufweist, jedoch relativ größere Hohlräume, die zufällig an der Grenzfläche der Matrix und einiger Aggregate angeordnet sind, beobachtet werden. Die Zuschlagstoffe stammen aus mehreren Quellen, und die Korngrößenverteilung ist als „Gap Graded“ festgelegt.

AP 4: Während des dritten Projekttreffens am KKU (Kernkraftwerk Unterweser) am 5./6. Oktober 2022 wurden zudem wichtige Informationen zur Visualisierung und Kartierung der Ergebnisse zwischen den Projektpartnern TUD-PBM, Dornier und PEL besprochen und ausgetauscht. Von Dornier wurden Informationen zur bisherige Datenaufnahme bzw. Messwertprotokollierung bereitgestellt. Darauf basierend wurden verschiedene mögliche Visualisierungsprototypen für eine zukünftige Messdatenaufbereitung erstellt und testweise als ParaView- und FreeCAD-Script implementiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1: Die Vorbereitungen laufen, um die Messtechnik zunächst an originalem Kernkraftwerksbeton aus dem Reaktorgebäude an bereits freigemessenen Klötzen außerhalb des Kontrollbereichs zu erproben.

AP 3: Der Beton, der die Betoneigenschaften am KKU repräsentiert, wird für den Labormaßstab gegossen (Replikat), um die Transporteigenschaften zu untersuchen. Es werden Durchlässigkeits-, Sorptions- und Diffusionstests durchgeführt und insbesondere der Einfluss kalter Fugen untersucht. Schließlich wird eine numerische Simulation durchgeführt, um den Transport von Radionukliden im Beton abzuschätzen.

AP 4: In den kommenden 6 Monaten sollen die Anforderungen bezüglich der Visualisierung konkretisiert und spezifiziert werden. Die zu nutzenden Datenformate werden festgelegt und zusätzliche Visualisierungswerkzeuge werden evaluiert. Diese Arbeiten werden auf Grundlage bereits vorhandener Daten aus dem Kalottenbereich KKU durchgeführt. Der Test mit realen Daten soll zu einer belastbaren Werkzeugauswahl führen. Es wird verifiziert, ob verfügbare Daten aus dem Abbau des Bioschildes im Sinne des Projektziels genutzt werden können.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Nurjahan, T.; Schleicher, E.; de Assis Dias, F.; Hampel, U., Investigation of complex electrical properties of concrete: A numerical model analysis, In: Proceedings of 15th International Workshop on Impedance Spectroscopy, 27.-30.09.2022, Chemnitz, Germany, pp. 7-9, IEEE Open Access, DOI: 10.1109/IWIS57888.2022.9975127.

Döhler, D., Alshut, L., König, L., Teichmann, T., Werner, T. & Kormoll, T., Characterization of a Fiber Optic Radiation Sensor Prototype for Nuclear Dismantling, 1 Aug 2022, In: IEEE transactions on nuclear science. 69, 8, pp. 1884-1892 9 p., 9825667.

Alshut, L., Modell für den Strahlendurchgang in Abhängigkeit der Betonzusammensetzung im kerntechnischen Rückbau, <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-826017>, 2022.

Dawoud, M. et al., Rohrgängige laserbasierte Probenahmesonde zur In-situ Analyse radioaktiver Kontamination im Beton und nuklidspezifischen Aktivitäten, Poster für PEL-Führungskräftemeeting in Landshut, 13.-15. September 2022, Landshut.

Rauf, A. et al., Development of Measuring Technology for Sampling Contaminated Concrete Structures of Nuclear Facilities during Dismantling. Poster des Konsortiums. PEL-Führungskräftemeeting in Landshut, 13.-15. September 2022, Landshut.

Zuarbeit zur Präsentation / Paper auf der Waste Management Conference 2023.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9435A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Visualisierung von Störstellen für Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessungen mit Hilfe von BIM (ViSDeMe) Teilvorhaben: Entwicklung eines innovativen Verfahrens für die Erstellung eines BIM-Modells für die zu bearbeitenden Räumlichkeiten einschließlich der Integration von Störstellen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2022 bis 30.06.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 496.297,58 € (inkl. Projektpauschale)
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing Sascha Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiter/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Anschluss an die Abschaltung eines Kernkraftwerks ist der Betreiber verpflichtet, die Anlagen zurückzubauen. Um Anlagenteile aus Kernkraftwerken ausbauen und gemäß Strahlenschutzverordnung freigegeben zu können, muss deren Aktivität unter einem Grenzwert liegen. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberflächen [Gentes et al., Abschlussbericht des Forschungsprojekts mit dem Förderkennzeichen: 02S8851, 2015], die für die Freigabe bearbeitet werden müssen.

Nach aktuellem Stand der Technik erfolgt im bisherigen Verfahren die Raumdatenerfassung manuell. Für die weiteren Verfahrensschritte stehen somit keine digitalen Raummodelle o.ä. zur Verfügung.

Ziel des Forschungsprojekts ViSDeMe ist die digitale Aufnahme und Visualisierung der Räumlichkeiten mit den verschiedenen Störstellen in kerntechnischen Anlagen mit Hilfe von Building Information Modeling (BIM). Auf diese Weise sollen die Räumlichkeiten vor Ort in einem möglichst genauen 3D-Modell abgebildet werden können, wodurch u.a. der Aufwand für die Raumdatenerfassung, Messplanung, Durchführung und Dokumentation der Dekontaminations- und Entscheidungsmessungen für die Anwender in kerntechnischen Anlagen reduziert werden kann. Die genaue Erfassung von Größe, Einbaulage usw. relevanter Störstellen, wie beispielsweise Ankerplatten ist ebenfalls essentiell, da diese Störstellen im Zuge der Entscheidungsmessung separat zu betrachten sind. Ein Schwerpunkt dieses Projekts bildet daher u.a. die Lokalisation von Ankerplatten unterhalb der Dekontaminationsbeschichtung und die genaue Verortung dieser im digitalen Modell.

Das geschilderte Vorgehen zur Digitalisierung des gesamten Verfahrens oder zumindest relevanter Verfahrensschritte wird zusammen mit dem Verbundpartner RWE Nuclear GmbH (im Folgenden: RWE) am Beispiel des Standorts Mülheim-Kärlich untersucht und evaluiert.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP1 (Anforderungskatalog): Erstellung eines Anforderungskataloges und daraus abgeleitete Geräteauswahl zur Erkennung von Störstellen

AP2 (Datenaufnahme): Datenaufnahme von Störstellen und Gebäudestruktur

AP3 (Punktwolkengenerierung): Entwicklung eines digitalen Gebäude-Modells

AP4 (Software-Entwicklung): Entwicklung und Validierung eines Verfahrens für die Extraktion von Informationen über Störstellen

AP5 (Modellintegration der Störstellen): Entwicklung eines Konzepts für Störstellen und Modell-Integration

AP6 (Visualisierung): Visualisierung und Validierung von Störstellen im Modell mit VR-Technologie

AP7 (Praxisphase): Entwicklung einer Planung für die Dekontaminationsarbeit und Entscheidungsmessung auf Basis des integrierten BIM-Modells

AP8 (Evaluationsphase): Auswertung der Ergebnisse am Beispielprojekt

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

Die bisher durchgeführten Arbeiten verliefen in enger Kooperation mit **RWE**. In dem angegebenen Berichtszeitraum fanden regelmäßige Online-Projekttreffen sowie mehrere Besuche vor Ort im Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich statt. Die Arbeiten in **AP1** sind am KIT/**TMB** teilweise abgeschlossen, die endgültige Auswahl der Messtechnik ist erst nach den Testmessungen in **AP2** möglich. Aktuell laufen weiterhin die Arbeiten in **AP2**, während parallel dazu die Arbeiten in **AP3** beginnen.

AP1: Anforderungskatalog

3.1 Rechercharbeiten zu Messverfahren

Nach Besichtigung ausgewählter Räumlichkeiten im Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich inklusive relevanter Störstellen, wurde eine ausführliche Recherche inklusive Literaturstudie zur Detektion von Störstellen innerhalb von Betonwänden durchgeführt. Der Schwerpunkt lag dabei insbesondere auf der Erfassung der Ankerplatten, welche unterhalb des Dekontaminierungsanstrichs verborgen und für visuelle Kameras nicht sichtbar sind. Dabei wurden drei potentielle Verfahren ermittelt, welche im weiteren Projektverlauf zu testen sind:

1. Aktive Thermographie
2. Elektromagnetisches Induktionsverfahren
3. Time-of-Flight-Kameras

Kenntnisse bezüglich der Erfassung der Gebäudegeometrie mittels Laserscanner liegen am **TMB** bereits vor. Bei der Besichtigung der Räumlichkeiten wurde insbesondere nach Hindernissen und Herausforderungen für die Datenerfassung geschaut. Des Weiteren wurde die Photogrammetrie als mögliche Ergänzung der Laserscanneraufnahmen (z. B. in verdeckten Bereichen) ausgemacht. Die damit erhaltenen Teilbereichspunktwolken können im Rahmen der Auswertung im **AP3** in die Gesamtpunktwolke des Laserscanners integriert werden.

3.2 Erstellung und Abstimmung eines Anforderungskatalogs

In enger Abstimmung zwischen den Projektpartnern wurde ein Katalog von Anforderungen festgelegt. Dieser enthält insbesondere Anforderungen an die Datenerfassung, an das zu erstellende Raummodell und zusätzlich Anforderungen zur eindeutigen Kennzeichnung der Flächen vor Ort, z. B. mittels einer Codierung. Von **RWE** wird für die Raumdatenerfassung im Freigabeprozess eine Genauigkeit von einem Zentimeter für die Gebäudegeometrie sowie den in den Betonflächen enthaltenen Störstellen gefordert. Es sind sowohl sämtliche sichtbaren (Rohrdurchführungen, sichtbare Ankerplatten, Kunststoffbauteile, etc.) als auch die „unsichtbaren“ Störstellen (insbesondere unter dem Dekontaminierungsanstrich verborgene Ankerplatten) zu erfassen, zu klassifizieren und zu visualisieren.

3.3 Geräteauswahl

Nach der Erstellung und Abstimmung des Anforderungskatalogs sowie der Durchführung und Auswertung von Testmessungen, wurde der am **TMB** vorhandene Laserscanner als grundsätzlich geeignet zur Erfassung der Raumgeometrie mit der geforderten Genauigkeit erkannt.

Für die Detektion der „unsichtbaren“ Störstellen wurden drei potentielle Verfahren ermittelt (siehe 3.1), deren Eignung im Rahmen von Testmessungen zu überprüfen und zu bewerten ist.

AP2: Datenaufnahme

3.4 Testmessungen zur Störstellendetektion

Bei Besuchen vor Ort in Mülheim-Kärlich wurden Tests durchgeführt zur Detektion der „unsichtbaren“ Störstellen mittels aktiver Thermographie. Dazu wurde der entsprechende Wandbereich, in dem aufgrund von Magnetmessungen eine verdeckte Ankerplatte grob lokalisiert worden war, mithilfe eines Heizstrahlers für eine gewisse Zeit erwärmt. Dabei erwärmt sich der Stahl der Ankerplatte schneller als der Beton der umliegenden Wand. Diesen Temperaturunterschied versucht man bei der aktiven Thermographie mittels einer Wärmebildkamera sichtbar zu machen. Während verschiedener Stadien des Erwärmungs- und Abkühlungsprozesses wurden mit einer am **TMB** bereits in einem anderen Projekt vorhandenen Wärmebildkamera niedriger Auflösung Wärmebilder aufgenommen. Das Verfahren ist grundsätzlich zur Erkennung von Ankerplatten, die direkt unter der Dekontaminierungsschicht liegen, geeignet. Es ist jedoch sehr zeitaufwändig.

3.5 Aufnahme der Gebäudegeometrie

Vor Ort im Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich wurden die Gebäudestrukturen ausgewählter Räumlichkeiten im freizumessenden Bereich mit dem Laserscanner vermessen. Es wurden rund 150 Standpunkte in den Ringräumen ZB innerhalb des Kontrollbereichs aufgenommen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

In den nächsten Monaten erfolgt die Auswahl und Beschaffung geeigneter Messtechnik für die Detektion der „unsichtbaren“ Störstellen, basierend auf den Vorversuchen sowie die Komplettierung der Datenaufnahme. Diese sollte ursprünglich vollständig im Rahmen von **AP2** stattfinden. Parallel dazu wird im **AP3** die erfasste Punktwolke ausgewertet und das Gebäudemodell erstellt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9435B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWE Nuclear GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Visualisierung von Störstellen für Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessungen mit Hilfe von BIM (ViSDeMe) Teilvorhaben: Praxisversuche und praxisorientierte Beratung bei Anwendung des BIM-Modells für Planung und Durchführung der Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2022 bis 30.06.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 79.738,73 €
Projektleiter/-in: Stephan Schilp	E-Mail-Adresse des/der Projektleiter/-in: Stephan.schilp@rwe.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Anschluss an die Abschaltung eines Kernkraftwerks ist der Betreiber verpflichtet, die Anlagen zurückzubauen. Um Anlagenteile aus Kernkraftwerken ausbauen und gemäß Strahlenschutzverordnung freigegeben zu können, muss deren Aktivität unter einem Grenzwert liegen. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberflächen [Gentes et al., Abschlussbericht des Forschungsprojekts mit dem Förderkennzeichen: 02S8851, 2015], die für die Freigabe bearbeitet werden müssen.

Nach aktuellem Stand der Technik erfolgt im bisherigen Verfahren die Raumdatenerfassung manuell. Für die weiteren Verfahrensschritte stehen somit keine digitalen Raummodelle o.ä. zur Verfügung.

Ziel des Forschungsprojekts ViSDeMe ist die digitale Aufnahme und Visualisierung der Räumlichkeiten mit den verschiedenen Störstellen in kerntechnischen Anlagen mit Hilfe von Building Information Modeling (BIM). Auf diese Weise sollen die Räumlichkeiten vor Ort in einem möglichst genauen 3D-Modell abgebildet werden können, wodurch u.a. der Aufwand für die Raumdatenerfassung, Messplanung, Durchführung und Dokumentation der Dekontaminations- und Entscheidungsmessungen für die Anwender in kerntechnischen Anlagen reduziert werden kann. Die genaue Erfassung von Größe, Einbaulage usw. relevanter Störstellen, wie beispielsweise Ankerplatten ist ebenfalls essentiell, da diese Störstellen im Zuge der Entscheidungsmessung separat zu betrachten sind. Ein Schwerpunkt dieses Projekts bildet daher u. a. die Lokalisation von Ankerplatten unterhalb der Dekontaminationsbeschichtung und die genaue Verortung dieser im digitalen Modell.

Das geschilderte Vorgehen zur Digitalisierung des gesamten Verfahrens oder zumindest relevanter Verfahrensschritte wird zusammen mit dem Verbundpartner Karlsruher Institut für Technologie/Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (im Folgenden: TMB) am Beispiel des Standorts Mülheim-Kärlich untersucht und evaluiert.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP1 (Anforderungskatalog): Erstellung eines Anforderungskataloges und daraus abgeleitete Geräteauswahl zur Erkennung von Störstellen

AP2 (Datenaufnahme): Datenaufnahme von Störstellen und Gebäudestruktur

AP3 (Punktwolkengenerierung): Entwicklung eines digitalen Gebäude-Modells

AP4 (Software-Entwicklung): Entwicklung und Validierung eines Verfahrens für die Extraktion von Informationen über Störstellen

AP5 (Modellintegration der Störstellen): Entwicklung eines Konzepts für Störstellen und Modell-Integration

AP6 (Visualisierung): Visualisierung und Validierung von Störstellen im Modell mit VR-Technologie

AP7 (Praxisphase): Entwicklung einer Planung für die Dekontaminationsarbeit und Entscheidungsmessung auf Basis des integrierten BIM-Modells

AP8 (Evaluationsphase): Auswertung der Ergebnisse am Beispielprojekt

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

Die bisher durchgeführten Arbeiten verliefen in enger Kooperation zwischen **RWE** und **KIT/TMB**. In dem angegebenen Berichtszeitraum fanden regelmäßige Online-Projekttreffen sowie mehrere Besuche vor Ort im Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich statt. Die Arbeiten in **AP1** sind am **KIT/TMB** teilweise abgeschlossen, die endgültige Auswahl der Messtechnik ist erst nach den Testmessungen in **AP2** möglich. Aktuell laufen weiterhin die Arbeiten in **AP2**, während parallel dazu die Arbeiten in **AP3** beginnen.

Bisherige Tätigkeiten und Termine:

1. Aufsetzen des Projekts (Vorbereitung, Termin- und Kommunikationsplan, Vorbereitung Kick-Off, Vorbereitung der Anforderungsanalyse und Stakeholder-analyse - **AP 1**)
2. Termine zur Ermittlung der Anforderungen (z.B. am 21.07. oder 16.08.2022 - AP 1)
3. Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung Kick-Off am 31.08.2022 (AP 1)
4. Gemeinsame Begehung mit dem TMB im Kontrollbereich Mülheim-Kärlich am 01.09.2022 und erste Raumaufnahme (AP 2)
5. Aufsetzen der Regeltermine und Möglichkeiten der Zusammenarbeit (z.B. Sharepoint)
6. Weitere Anleitung von Anforderungen und Gespräche mit Stakeholdern (AP 1)
7. Vertiefende Begehung und Raumaufnahme im Kontrollbereich sowie Testmessungen zur Störstellendetektion mittels aktiver Thermographie am 25.10.2022 (AP2)
8. Erweiterung und Konkretisierung der Anforderungen (AP 1)
9. Sichtung der ersten Datenaufnahmen (AP 2)
10. Durchführung der Regeltermine
11. Abstimmung zu den bisherigen Ergebnissen der Datenaufnahme und Lokalisierung der Störstellen (AP 2)
12. Recherche zu weiteren Verfahren der Erfassung der Störstellen mit dem Fokus auf Ankerplatten

AP1: Anforderungskatalog

3.1 Rechercharbeiten zu Messverfahren

Auf Basis der erfassten Anforderungen an die Inhalte und Genauigkeit der Datenerfassung wurde eine Recherche zu möglichen Messverfahren durchgeführt.

Verschiedene weitere Möglichkeiten wurden beleuchtet, z.B. die Time-of-Flight-Kameras.

3.2 Erstellung und Abstimmung eines Anforderungskatalogs

In enger Abstimmung zwischen den Projektpartnern wurde ein Katalog von Anforderungen festgelegt. Dieser enthält insbesondere Anforderungen an die Datenerfassung, an das zu erstellende Raummodell und zusätzlich Anforderungen zur eindeutigen Kennzeichnung der Flächen vor Ort, z. B. mittels einer Codierung. Von **RWE** wird für die Raumdatenerfassung im Freigabeprozess eine Genauigkeit von einem Zentimeter für die Gebäudegeometrie sowie den in den Betonflächen enthaltenen Störstellen gefordert. Es sind sowohl sämtliche sichtbaren (Rohrdurchführungen, sichtbare Ankerplatten, Kunststoffbauteile, etc.) als auch die „unsichtbaren“ Störstellen (insbesondere unter dem Dekontaminierungsanstrich verborgene Ankerplatten) zu erfassen, zu klassifizieren und zu visualisieren.

Einbindung verschiedener Stakeholder, wie z.B. Teilprojektleiter Messen/ Raumdatenerfassung sowie weiterer operativer Kollegen.

3.3 Geräteauswahl

Für die Detektion der „unsichtbaren“ Störstellen wurden von **TMB** und **RWE** drei potentielle Verfahren ermittelt, deren Eignung im Rahmen von Testmessungen zu überprüfen und zu bewerten ist.

AP2: Datenaufnahme

3.4 Testmessungen zur Störstellendetektion

An den o.g. Terminen fanden vergleichende Testmessungen im Kontrollbereich in Mülheim-Kärlich statt. Hierbei kamen erst einmal die folgenden Messverfahren zum Einsatz:

- Scans mit dem Faro-Laserscanner
- Videos der Räume
- Bilder mittels Kamera
- Ortung von Ankerplatten über Magnete
- Erwärmung der Wände mittels Heizstrahler und Aufnahme mit Wärmebildkamera (aktive Thermographie)

3.5 Aufnahme der Gebäudegeometrie

An mehreren Terminen wurden durch das **TMB** vor Ort im Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich die Gebäudestrukturen ausgewählter Räumlichkeiten im freizumessenden Bereich mit dem Laserscanner vermessen. Die entsprechenden Räumlichkeiten wurden von **RWE** ausgewählt und die Messungen im Kontrollbereich beaufsichtigt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In den nächsten Monaten erfolgt in Zusammenarbeit mit dem **TMB** die Auswahl geeigneter Messtechnik für die Detektion der „unsichtbaren“ Störstellen, basierend auf den Vorversuchen sowie die Komplettierung der Datenaufnahme. Diese sollte ursprünglich vollständig im Rahmen von **AP2** stattfinden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9409A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V.	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen Teilvorhaben: 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 reaktornahen Beton- bzw. Konstruktionselemente berechnet.

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

In diesem Teilvorhaben werden die dafür benötigten genauen 3D Neutronenfluenzrechnungen durchgeführt. Für solche Simulationen mit komplizierten Geometrien ist die Monte-Carlo Methode ein anerkanntes Verfahren. Zum Einsatz im Projekt kommt deshalb hauptsächlich das international viel verwendete Programm MCNP6. Für das Erstellen des Geometriemodells werden Originalkonstruktionsunterlagen verwendet. Als Referenzkraftwerk wird eine Vor-Konvoi Anlage genutzt. Die Neutronenquelle wird, basierend auf entsprechenden Leistungsgeschichten, als äußere Quelle vorgegeben. Die benötigten Daten dafür werden vom Betreiber bereitgestellt. Wegen der großen räumlichen Dimensionen muss ein Schwerpunkt der Arbeiten in der Optimierung der Simulation liegen. Die Nutzung von Varianzreduzierenden Methoden wird dabei unerlässlich sein.

Zur Validierung der Rechenergebnisse werden Neutronenfluenzmessungen auf Basis von Aktivierungsfolien im Referenzkraftwerk durchgeführt. Zusätzlich sind Messungen in anderen KKW geplant. An ausgewählten Stellen werden verschiedene Folien in Reaktornähe installiert und während eines Betriebszyklus bestrahlt. Die erzeugten Aktivitäten werden mit den Rechenergebnissen verglichen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Realisierung des Vorhabens erfolgt in mehreren aufeinander abgestimmten Arbeitspaketen (AP). 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 Gammaskopie 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 (Dampferzeuger- und Pumpenräume) sind praktisch abgeschlossen. In einer gründlichen Testphase wurde das Modell überprüft. Das Reaktormodell umfasst jetzt alle Räume, in denen für den Rückbau relevante Aktivierung durch Neutronen vermutet werden.

AP 2: Durch die Laufzeitverlängerung vom Referenzkraftwerk 2 ist es notwendig, die Neutronenquelle neu zu bestimmen. Dies trifft sowohl auf die Berechnung der Quelle für den Monitorvergleich zu als auch für die Gesamtquelle für die Aktivitätsberechnung. Entsprechende Daten wurden im November vom Betreiber übergeben und die Quellverteilung bzw. Gesamtquelle wurde bestimmt. Man kann davon ausgehen, dass nachdem die exakte Leistungsgeschichte bekannt ist (Mitte April) diese berechneten Werte, wenn überhaupt, nur in der Gesamtquelle minimale Korrekturen bedürfen.

In Rücksprache mit dem Kraftwerksbetreiber wurde die Neutronenfluenzverteilung in mehreren RDB-Komponenten in einem sehr feinen Netz neu berechnet. Die Ergebnisse sollen für einen Vergleich mit Werten dienen, die im Genehmigungsprozess für den Rückbau verwendet werden. So wurde die Neutronenfluenzverteilung in einem sehr feinen Gitter von rund 2 x 2 x 1 cm (x, y, z-Richtung) in der unteren Kernstützplatte und in der oberen Gitterplatte berechnet. Außerdem wurden in den BE-Zentrierstiften die Neutronenfluenzen berechnet, weil diese mit am stärksten aktiviert worden sind. Dafür wurde das Modell mit den Stiften erweitert. Zusätzlich musste bei der Berechnung berücksichtigt werden, dass nacheinander alle Stifte in den Jahren 1990, 1991, 1993 und 1995 ausgetauscht und somit unterschiedliche Quellen entsprechend der Einsatzzeit für die Rechnung genutzt wurden. Dafür musste das Quellprogramm leicht modifiziert werden, um diese zu bestimmen. Die Ergebnisse wurden mit einer sehr guten Statistik bestimmt.

AP 3. Die Aktivierung von ca. 120 Monitorpaketen aus Referenzkraftwerk 1 wurde gammaskopiebestimmend bestimmt. Dafür mussten für die größeren Monitore, welche an den Stellen mit sehr wenig Neutronenstrahlung positioniert waren (Bioschild außen, Kühlmittelleitungen, Dampferzeuger), neue Effizienzkurven für die exakte quantitative Aktivitätsbestimmung erstellt werden.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 1: Das Arbeitspaket ist abgeschlossen. Unabhängig davon werden natürlich die sich aus den Rechnungen ergebenden notwendigen Erweiterungen und Optimierungen des Reaktormodells fortgesetzt.

AP 2: Wegen des sehr langen Zyklus verändert sich die Verteilung der Neutronenquelle stärker als in den vorherigen Zyklen. Deshalb ist es wichtig, für bestimmte Monitore, auf Basis ihrer Halbwertszeiten, zeitlich gewichtete Quellen zu bestimmen. Diese Quellen können aber erst nach Beendigung des Zyklus berechnet werden, wenn die genaue Leistungsgeschichte bekannt ist.

Die entsprechenden Neutronenfluenzverteilungen werden in dem Dampferzeuger- bzw. Pumpenraum berechnet. Der Fokus liegt dabei auf dem Vergleich mit den gemessenen Aktivitäten der Monitore. Auf Basis des Vergleiches wird versucht, im Rahmen von Toleranzangaben, z.B. der Dichte des Betons, das Modell so zu modifizieren, dass eine bessere Übereinstimmung erzielt werden kann.

AP 3: Der erste Satz Monitore, welcher nach der Hälfte des aktuellen Zyklusses aus Referenzkraftwerk 2 entnommen wurde, wird im Februar nach Rossendorf geliefert. Danach wird die Aktivierung mit Gammaskpektrometrie bestimmt. Durch die Laufzeitverlängerung des Kraftwerkes verzögert sich die Entnahme der verbleibenden Monitore und kann erst nach endgültiger Abschaltung des Kraftwerkes erfolgen. Für ausgewählte Monitore wird Nb-93m (Aktivierungsprodukt aus Nb) mittels LSC bestimmt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

WERREBA Projekt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Barkleit, A.; Rachamin, R.; Yassin, G.; Pönitz, E.; Konheiser, J.: "Activation determination for decommissioning of nuclear power plants" 5th International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity (ICRER), 04.-09.09.2022, Oslo, Norway. – Vortrag

R. Rachamin, J. Konheiser, S. Marcus, "Activation calculations of selected RPV internal components for optimal decommissioning of nuclear power plants", Proc. of 15th workshop on Shielding aspects of Accelerators, Targets, and Irradiation Facilities (SATIF), East Lansing, Michigan, USA, September 20-23, 2022.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9409B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWTH Aachen, Institut für Nukleare Entsorgung und Techniktransfer (ELS)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenflussverteilungen – EMPRADO Teilvorhaben: Entwicklung und Anwendung einer Methode zur genauen Berechnung der Aktivitäts- und Dosisleistungsverteilung von KKW für optimalen Rückbau	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2018 bis 30.11.2022	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 694.085,52 €
Projektleiter/-in: Dr. Frank Charlier / Prof. Dr. R. Nabbi	E-Mail-Adresse des Projektleiters: Charlier@els.rwth-aachen.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

Das vorliegende Forschungsprojekt verfolgt drei wesentliche Ziele:

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

Der Titel des Teilprojektes der RWTH Aachen lautet:

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 4.1: 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 Rahmen dieses Arbeitspakets erfolgte, nach der Validierung des Rechenmodells am Beispiel der ersten DWR-Anlage des Typs VOR-KONVOI, die Auswertung der Ergebnisse der bereits durchgeführten Aktivierungsberechnungen sowie die Generierung von 3D Aktivierungsatlanten, welche die Grundlage für die Optimale Planung und Realisierung von Rückbaumaßnahmen sind. Vor diesem Hintergrund erfolgten, auf der Grundlage der berechneten nuklidspezifischen Aktivitätsverteilung, die ersten Schritte zur Entwicklung eines optimalen Zerlegungs- und Verpackungskonzepts für die aktivierten Komponenten mit Minimierung der Abfallmenge für Endlagerung.

Des Weiteren wurden (infolge der inhaltlichen Projekterweiterung) 3D-Aktivierungsberechnungen für eine 2. Anlage des Typs KONVOI durchgeführt, 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 kostenneutralen Laufzeitverlängerung des Teilprojekts wurden die für diesen Berichtszeitraum vorgesehenen Arbeiten (AP-5.2) in das 1. Halbjahr 2023 verlagert(siehe Abschnitt geplante Arbeiten).

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

Die für AP-4.2 geplanten Arbeiten wurden durchgeführt und sind bereits abgeschlossen.

AP 5.1: Bestimmung der Verteilung der Strahlungsquellterme

Im nächsten Halbjahr erfolgt die Berechnung der Verteilung der Spektralen Quellterme im Gesamtmodell einer weiteren DWR-Anlage des Typs KONVOI. Die dabei entstehenden Ergebnisse bilden die Datengrundlage für die Berechnung der Verteilung des Gamma-Flusses und der Ortsdosisleistung (ODL) für den KONVOI-Reaktor, in dessen Rechenmodell sich die Betriebsparameter und die 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 des AP-5.2 werden 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 additive und gewichtete Kombination der Datenfelder. Darüber hinaus wird in der kommenden 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 auf der Basis der generierten Quelltermdateien (aus AP-5.1) und unter 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 beiden Teilprojekten besteht.

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

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

3-M. Norden, et al “Development and Application of a High-Dimensional Model for Activity Analysis”, EU-RadWaste 2022, Lyon, France

4-M. Nolden, „Charakterisierung des Aktivitätsinventars von Kernreaktoren und Erstellung einer optimierten“, Dissertation, RWTH-Aachen, August 2022

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9431A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hellma Materials GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie Teilvorhaben: 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 drei 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

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

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

AP 3 Aufbau Messsysteme

3.6 Softwareprogrammierung LabView (4/2022-11/2022)

3.7 Aufbau und Inbetriebnahme Zusatzgeräte (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)

AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen

5.1 Langzeittests zur Temperaturstabilität (7/2023-2/2024)

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

Abgeschlossene Arbeitspakete:

AP 1

Abgeschlossene Programmpunkte:

in AP 2: 2.1 bis 2.4

in AP 3: 3.1 bis 3.5

Laufende Programmpunkte:

AP 2.5, 2.6

AP 3.6, 3.7, 3.8

AP 4.1, 4.3, 4.4

Projektmeetings und Seminare:

- 4. Projektmeeting am 22.09.22 in Zittau

Für das Projekt getätigte Investitionen:

- Detektorelektronik für den RSL4
- Materialentnahme für Kristallzucht
- Einweisung in SODIGAM Programm (1 Arbeitstag in Jena Dr. Westmeier)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse:

In **AP 2.6** wurde die Algorithmenentwicklung für die Bildrekonstruktions-Software abgeschlossen. Es wird ein Algorithmus aus dem Maschinellen Lernen verwendet, der unter dem Namen *Relevanz-Vektor-Maschine* bekannt ist. Im Kontext des QGRIS Projekts ist *relevant* synonym mit *radioaktiv*. Es handelt sich um eine Maschine, die selbstständig die räumliche Kontaminationsverteilung aus den Messdaten erlernt. Die *Relevanz-Vektor-Maschine* ist eine Bayessche lineare Regression für dünnbesetzte Verteilungen, d.h. die erwartete Kontaminationsverteilung wird als dünnbesetzt modelliert (weniger als ca. 10% aller Orte sind radioaktiv belastet).

Als Ergebnis liefert die Maschine eine Vorhersageverteilung in einer gewählten Kamera-
projektion. Nachstehend sind zwei Beispiele für Messungen mit einer Cäsium Punktquelle
gezeigt. Für die Darstellung wurde die stereografische Projektion gewählt.

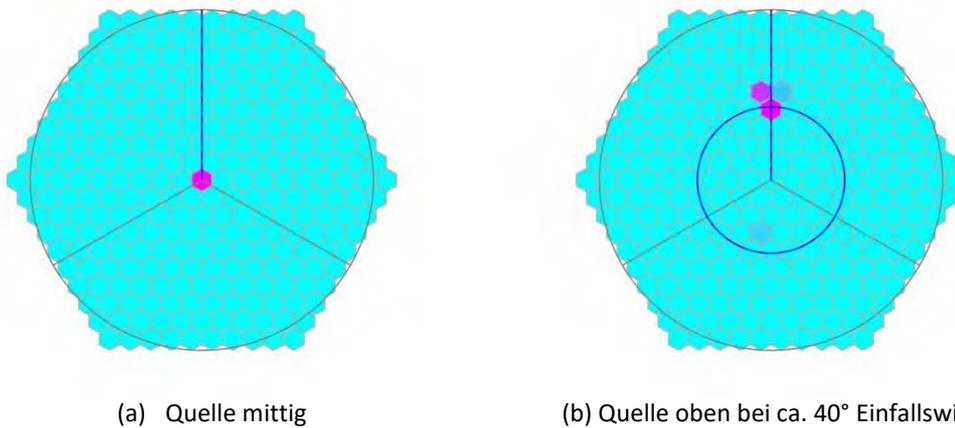


Abb 1. RSL7 Kamerabilder in stereografischer Projektion für verschiedene Positionen einer Cs-137 Punktquelle. Die Messungen wurden vom Projektpartner HSZG ausgeführt. Der tatsächliche Emissionspunkt befindet sich am Schnittpunkt der blauen Linie mit dem blauen Kreis, welche Azimut- und Einfallswinkel zur optischen Achse repräsentieren. Es wird ein drei-achsiges Koordinatensystem verwendet, das der drei-achsigen Gerätesymmetrie des RSL7 entspricht.

Zur Berechnung des Kamerabildes benötigt die *Relevanz-Vektor-Maschine* einen Merkmalsvektor. Ein Merkmal ist eine charakteristische Funktion, auch Basisfunktion genannt, wobei jeder Ort im Kernkraftwerk eine bestimmte Signatur hat. Der Merkmalsvektor ist ein mathematisch-physikalisches Modell, das physikalische Gesetze zur Wechselwirkung von Gammastrahlung (Klein-Nishina Formel) und Materialeigenschaften der Detektoren berücksichtigt.

Im Rahmen der Modellentwicklung wurde eine Software erstellt, mit der der Merkmalsvektor anhand von Messungen experimentell überprüft werden kann, ob die Merkmale korrekt abgebildet werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch sieben Basisfunktionen, welche in ihrer Gesamtheit die Basis für das Regressionsmodell bilden.

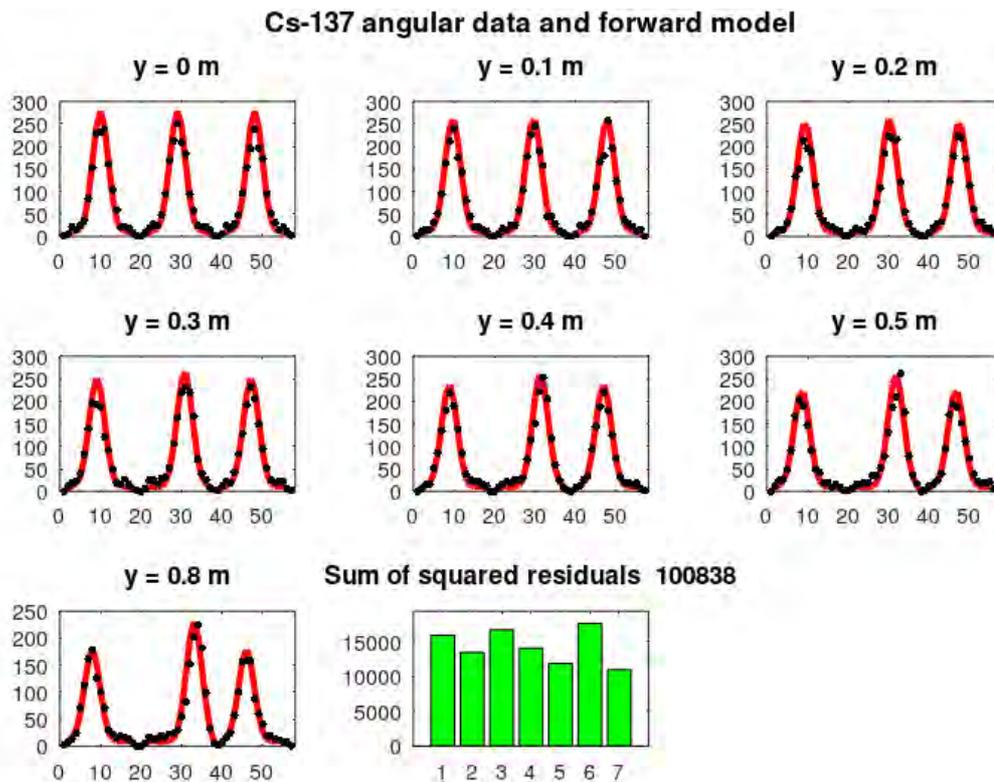
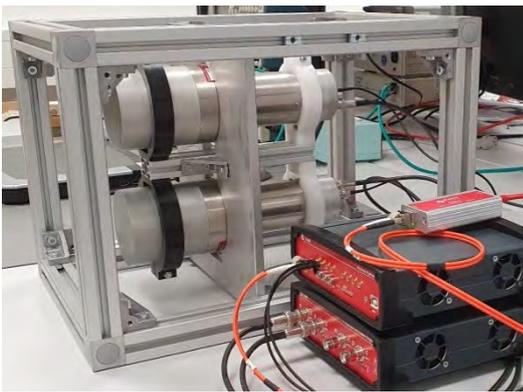


Abb 2. Sieben Basisfunktionen der *Relevanz-Vektor-Maschine* (rote Kurven) im Vergleich mit Messdaten vom RSL7 (schwarze Punkte). Die Peaks repräsentieren die Koordinaten eines Emissionspunktes im drei-achsigen Koordinatensystem des RSL7. Die Darstellung dient der Überprüfung des Merkmalsvektors und seiner weiteren Verbesserung. Es wird eine möglichst gute Übereinstimmung mit den Daten angestrebt. Die Messungen wurden vom Projektpartner HSZG ausgeführt.

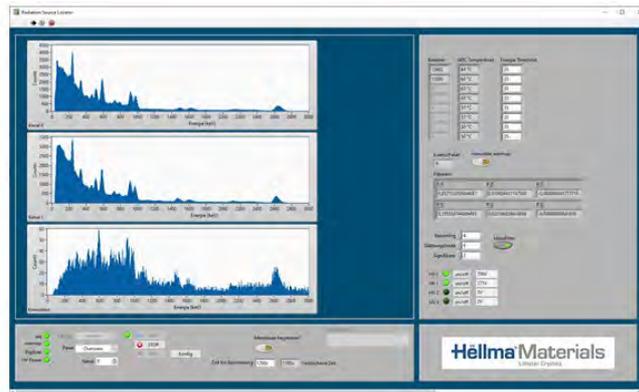
Aktuelle Arbeiten in **AP 2.5** dienen ebenfalls dem Ziel, die mathematisch-physikalische Modellierung weiter zu verbessern. Zu diesem Zweck arbeiten wir eng mit dem Projektpartner HSZG zusammen, der für ausgewählte Geometrien FLUKA Simulationsdaten zur Verfügung stellt.

Parallel zu den Arbeiten mit der Relevanz-Vektor-Maschine führt der Projektpartner FAU eigene Arbeiten zur Modell- und Algorithmenentwicklung durch. Für die Arbeitspakete AP 4 und AP 5 stehen dann alternativ zwei Software-Varianten zur Verfügung, die bzgl. ihrer Eignung für den praktischen Einsatz miteinander verglichen werden können. Aus mathematischer Sicht handelt es sich um zwei sehr unterschiedliche Herangehensweisen, die unterschiedlichen Teilgebieten der Mathematik entstammen: Der Projektpartner FAU arbeitet mit Algorithmen aus der Bildrekonstruktion in der Computertomographie, während unsere Arbeiten dem Maschinellen Lernen entnommen sind und im strengen Sinn nicht der Bildrekonstruktion zugerechnet werden.

In **AP 3** wurden zwei Messsysteme, der RSL7 und der RSL2 fertiggestellt. Beide Systeme wurden mit CAEN Elektronik und einem LabView Datenakquisitionsprogramm ausgestattet, das Single Events und Koinzidenz-Events aufzeichnet (**AP 3.6**). Die Geräte wurden an den Projektpartner HSZG übergeben und werden dort für Messungen in **AP 4** genutzt (Abholung durch Dr. Kaden, Übergabe RSL7 am 10. Juni 2022 und RSL2 am 14. September 2022). Damit wurde Meilenstein 3 – zwei funktionstüchtige Geräte liegen vor – bereits 2½ Monate vor dem Termin erreicht.



(a)



(b)

Abb 3. (a) RSL2 Messsystem mit zwei Cerbromid-Detektoren und CAEN Elektronik,
(b) Screenshot der RSL2 LabView Software.

Für den neu definierten Meilenstein 3b, ein drittes Gerät anzufertigen, das eine Weiterentwicklung gegenüber den vorhandenen Prototypen darstellt, wurde mit ersten Planungen begonnen. Als wesentliche Neuerung ist vorgesehen, die Detektorgruppe rotieren zu lassen, womit die Abtastung und damit auch die Bildqualität verbessert werden sollen. Das neue Gerät verwendet bereits vorhandene Szintillationsdetektoren, die eine neue Umhausung mit Bewegungsansteuerung erhalten. Abb. 4 zeigt den technischen Entwurf für das Gerät (RSL4).

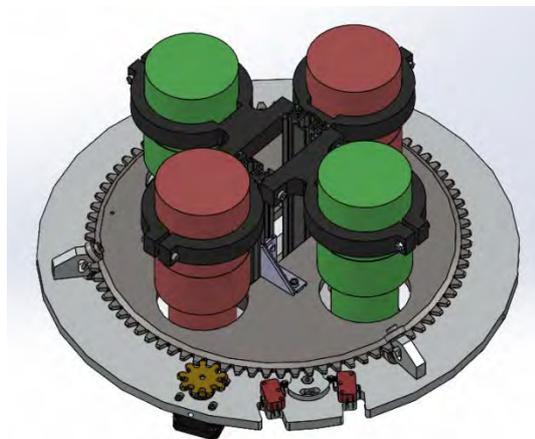


Abb 4. Technischer Entwurf für den RSL4, bestehend aus zwei Cerbromid- und zwei Plastik-Detektoren.

Der RSL4 wird in der Lage sein, ein vollständiges Sinogramm¹ der Emissionsverteilung in den kerntechnischen Anlagen aufzuzeichnen. Abb. 5 illustriert die Verbesserung des RSL4 gegenüber dem RSL7 anhand des Merkmalsvektors. Die Basisfunktionen des RSL4 sind 2-dimensional und erfassen die räumlichen Merkmale der Emissionsstellen in den kern-technischen Anlagen besser als dies mit dem RSL7 möglich ist.

¹ Sinogramme sind übliche Datenformate von CT- und PET-Scannern.

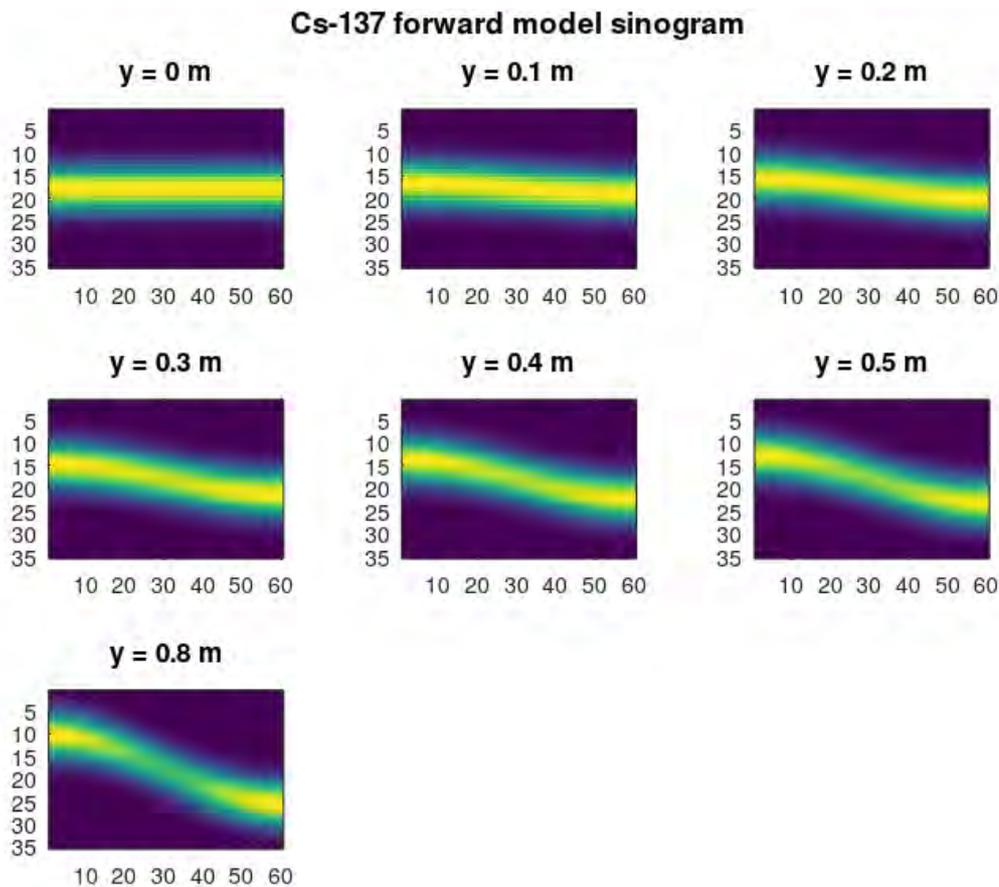


Abb 5. Sieben 2-dimensionale Basisfunktionen des RSL4 - analog zur Darstellung in Abb. 2 für den RSL7. Der Kurvensatz entspricht einer Verschiebung einer Punktquelle in 1 m Abstand vor der Kamera bei den angegebenen Höhenwerten y . Es handelt sich um Sinuskurven mit der gerätespezifischen Auflösung. Phase und Amplitude der Sinuskurve enthalten die Information über den Emissionsort.

Im Rahmen der Arbeiten zu **AP 3.5** fand am 14. September 2022 eine Einweisung in die SODIGAM Software für Gammaskpektrometrie mit Dr. Westmeier in Jena statt, an der auch Dr. Thomas Kaden vom Projektpartner HSZG teilgenommen hat.

In **AP 3.7** wurden Zusatzgeräte für die Messsysteme ausgewählt und spezifiziert. Es wurden Angebote für zwei CMOS Kameras eingeholt, die mit Fish-eye Objektiven ausgestattet sind.

Am 22. September 2022 wurde das vierte QGRIS Projektmeeting an der Hochschule Zittau/Görlitz abgehalten. Von Seite der Hellma Materials GmbH haben daran Herr Karsten Hölzer, Dr. Frank Seifert und Dr. Sibylle Petrak teilgenommen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die ersten beiden Messsysteme RSL2 und RSL7 befinden sich aktuell beim Projektpartner HSZG. Erste Messkampagnen mit den Geräten sind abgeschlossen. Es beginnen nun die Versuchsreihen von **AP 4.3**, die zuvor von Herrn Sören Alt (HSZG) in AP 1.5 geplant wurden. Wir beteiligen uns aktiv an der Auswertung der Versuchsreihen und stehen darüber in engen Kontakt mit dem Projektpartner.

In **AP 3** wird ein neues drittes Gerät, der RSL4, fertiggestellt und in Betrieb genommen. Alle Geräte werden mit zusätzlichen CMOS Kameras und Fish-eye Objektiven ausgestattet, was die Interpretation der berechneten Emissionsverteilungen erleichtern wird. Die Emissionsverteilung wird Live-Aufnahmen realer Objekte in den kerntechnischen Anlagen überlagert, woran die Kontaminationsobjekte sofort erkennbar sein werden.

Ferner sollen im nächsten Halbjahr Geräte-Software und Mess-Performance kontinuierlich verbessert werden. In **AP 4.4** wird die Bildrekonstruktions-Software anhand von Messungen mit homogenen und nicht-homogenen Linienquellen eines einzelnen Nuklids und von Nuklidgemischen weiterentwickelt werden. Es sollen auch technische Verbesserungen bei der Software-Implementierung realisiert werden. Derzeit ist die Bildrekonstruktion nur offline möglich, d.h. die mit LabView aufgezeichneten Daten werden in separate Matlab/Octave-Programme eingelesen. Mit einem geeigneten Interface soll die Bedienbarkeit für den Nutzer erleichtert werden, so dass die Matlab/Octave-Programme auch direkt von LabView ausgeführt werden können.

Die vorgesehenen Software Features umfassen:

- Fertigstellung der Energiekalibration für die Detektoren
- Automatische Ausführung der Hellma und FAU Bildrekonstruktionssoftware nach Abschluss einer Messung
- Live-Ausführung der Hellma und FAU Bildrekonstruktion mit Live-Anzeige in LabView
- Überlagerung der Live-Bildrekonstruktion mit optischem Kamerabild von CMOS Kameras
- Entfaltung der Cerbromid-Gammaspektren mit integrierter Nuklidenterkennung

Zu den Arbeiten in **AP 5.1** wurde im Projektverbund abgestimmt, dass die Langzeittests zur Temperaturstabilität an der HSZG in Zittau stattfinden werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S59431B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie Teilvorhaben: Bildrekonstruktionsverfahren	
Laufzeit des Vorhabens: 06/2021 bis 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)

Im Rahmen der Arbeitspakete 3.6 & 4.4 zur Softwareentwicklung wurden Fortschritte in Richtung einer verwendbaren Rekonstruktionssoftware fürs fertige Gerät gemacht. Im Laufe der ersten Phasen im Projekt wurden in unserer Gruppe an der FAU die algorithmischen Tests in der Softwareumgebung MATLAB durchgeführt. Hier stellte sich als zentrale Fragestellung die Übertragung der Software aufs geplante Messinstrument und die Anknüpfung an die installierte Labview-Software. MATLAB als immer wieder neu veröffentlichte Softwarebasis könnte irgendwann zu Kompatibilitätsproblemen führen, außerdem stellt der Kauf einer immer wieder zu erneuernden Lizenz für jedes Kameragerät einen vermeidbaren Kostenpunkt dar. Eine Übersetzung des mittlerweile umfangreichen Programmcodes in eine andere Programmiersprache wurde in Betracht gezogen, aber aus Praktikabilitätsgründen verworfen. Stattdessen implementierten wir ein Softwaretool in MATLAB, das die bisher im Rahmen des Projekts programmierte Software verwenden kann, aber kompiliert und auf Systemen ohne MATLAB-Lizenz als eigene Anwendung aufgerufen werden kann. Die Implementierung der Funktionen im User Interface und die Anknüpfung an den existierenden Code hat sich insofern gelohnt, als die eigenständige Anwendung auch den Ablauf von Tests mit Prototypen innerhalb der Projektzusammenarbeit beschleunigt.

Weiter wurde mathematisch konzeptioniert, wie die Korrektur für mehrere Streuevents im selben Detektor auszusehen hat, da diese in den Strahlenstandtests und den FLUKA-Simulationen mit den eher großen CeBr₃-Detektoren häufiger beobachtet worden waren.

In der finalen Rekonstruktionssoftware soll als vorangestellter Schritt auch die Nuklidbestimmung aus den gemessenen Koinzidenzen erfolgen. Die reine Rekonstruktion der Nuklidanteile aus einem gemessenen Spektrum ist ein leichtes Entfaltungsproblem und könnte auch von vielen gängigen Spektrometrie-Softwares übernommen werden. Bei der neuen Implementierung in unserer Gruppe geht es vor allem um die Frage, ob durch die Koinzidenzen in der Compton-Kamera noch mehr Informationen als nur der Aktivitätsanteil in diesem Schritt rekonstruiert werden, welche evtl. hilfreich für die finale Bildrekonstruktion sein könnten.

Mit der Veröffentlichung der Ergebnisse wurde begonnen, dazu wurde bei der Konferenz AIP 2023, der führenden im Gebiet inverser Probleme ein Minisymposium zum Thema des Projekts eingereicht (Organisatoren: Burger, Kuger und S.Siltanen, Helsinki). Dieses wurde mittlerweile akzeptiert und bietet auch eine hervorragende Gelegenheit des wissenschaftlichen Austausches mit anderen internationalen Gruppen, die an verwandten Problemen arbeiten. Neue Erkenntnisse können dann ggf. im letzten Projektjahr eingearbeitet werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die MATLAB-unabhängige Anwendung muss in der Funktionalität erweitert werden. Momentan ist die Berechnung des erwarteten Spektrums für eine gegebene Punktquelle und ihr Vergleich mit tatsächlich von der Kamera gemessenen oder von FLUKA simulierten Daten möglich. Die logische nächste Erweiterung ist ein weiterer Modus für die Bildrekonstruktion, der Einbezug von mehreren Punktquellen, anderen Quellentypen und verschiedenen Nukliden im bisherigen Setting. Die Korrektur für mehrfache Streuung ist rechenaufwändig und muss effizient mit einbezogen werden, wofür die Struktur des zugrundeliegenden Algorithmus zur Berechnung der Bildrekonstruktion noch angepasst werden muss.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9431C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hochschule Zittau/Görlitz	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, Teilvorhaben C - Experimentelle Untersuchungen und Simulation	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 410.529,18 € (inkl. PP)
Projektleiter/-in: Prof. Thomas Schönmath	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: T.Schoenmuth@hszg.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm (im Berichtszeitraum)

AP 2 Simulation, Modellierung

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

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

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

AP 3 Aufbau Messsysteme

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

3.8 Systemintegration (6/2022-10/2022)

AP 4 Labormessungen, Versuchsreihen

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

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

Zu AP 2.3

Nach erfolgter Freigabe durch den Projektträger wurde ein Co-60 Quellensatz, bestehend aus acht Prüfstrahlern mit einer Aktivität von jeweils 18,5 MBq bestellt. Die Lieferung der Quellen ist in Q1/2023 vorgesehen. Der Quellensatz wird für Versuche in AP 4.3 verwendet, u.a. um damit modellhaft Linien- und Flächenquellen darzustellen.

Zu AP 2.4

Es wurden weitere FLUKA-Simulationen der zur Auswahl verbliebenen Detektorgruppen 6, 6a, 6b, 8 und 9 durchgeführt. Zudem wurde durch Weiterentwicklungen beim Projektpartner HELIMA eine weitere Detektorkonstellation (RSL4) für die Untersuchungen hinzugefügt. Die Auswertung aller Simulationen wird im kommenden Berichtszeitraum abgeschlossen.

Zu AP 2.5

Simulation der Vielfachstreuung in RSL2 und RSL7

Für die Berechnung des Comptonwinkels aus Koinzidenzereignissen werden die Energiewerte eines Streuereignisses (Detektor 0 in Abb. 1) und eines Absorptionsereignisses (Detektor 1) benötigt. Wie in Abb. 1 zu sehen ist, kann das Streuereignis auch aus mehreren aufeinanderfolgenden Streuprozessen resultieren, in diesem Beispiel finden zwei Streuereignisse in Detektor 0 statt. In den Simulationen hat sich gezeigt, dass in dem gegebenen Detektorvolumen bis zu acht Streuereignisse eines Gammaphotons zu beobachten sind. Um diese sogenannte Vielfachstreuung zu quantifizieren, wurden die Spuren von Gammaphotonen in Koinzidenzereignissen detailliert ausgewertet. Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen wurden dem Projektpartner FAU zur Verwendung im Rekonstruktionsalgorithmus zur Verfügung gestellt.



Abbildung 1: Koinzidenzereignis eines Photons (gelbe Linie) mit einer Energie von 662 keV, bestehend aus zwei Streuereignissen in Detektor 0 (DETO, Plastik-Szintillator) und einem Absorptionsereignis in Detektor 1 (DET1, CeBr₃-Detektor).

Zu AP 3.7

Für die Bestimmung der Ortsposition der Gamma-Kamera wurden Alternativen zu den kostenintensiven 3D-Laserscanner-Systemen geprüft. Durch den Projektpartner *Hellma Materials* wird nun zunächst die Integration von CMOS-Kameras mit Fisheye-Objektiven in die Messsoftware der Comptonkamera vorangetrieben, um damit eine bildliche Zuordnung der Quelle im Raum herzustellen. Bei Experimenten im Strahlenlabor (HSZG) werden weiterhin einfache Messmethoden (Laser-Abstandsmessung, Laser-Pointer, Lineale, Winkelmesser) verwendet.

Zu AP 3.8

Nach den Inbetriebnahme-Experimenten der Gamma-Kamera mit der Spezifikation „RSL7“ wurde durch *Hellma Materials* eine weitere Kamera, Spezifikation „RSL2“ zur Verfügung gestellt und äquivalente Versuchsreihen zur Inbetriebnahme durchgeführt. Durch die vorgesehene Entwicklung eines dritten Gerätes („RSL4“) werden diese Aktivitäten fortgeführt.

Zu AP 4.3

Energiekalibrierung *der Detektoren*

Für eine möglichst genaue Berechnung des Comptonwinkels aus den gemessenen Energiewerten der Koinzidenzereignisse ist eine hohe zeitliche Stabilität der Energiekalibrierung der Detektoren notwendig. Im Dauerbetrieb verschiedener Cerbromid-Detektoren unter Verwendung mehrerer Messelektroniken wurde eine Verschiebung der Peaklage mit zunehmender Messdauer beobachtet, wie exemplarisch in Abb. 2 gezeigt ist. Bei einem Cerbromid-Detektor verschiebt sich die Peaklage des Photopeaks von Cs-137 (662 keV) nach 4 Stunden Messdauer um ca. 8 keV und stabilisiert sich mit zunehmender Messdauer. Der gleiche Effekt trat bei einem vergleichsweise untersuchten Lanthanbromid-Detektor auf, die Peaklage nach 4 Stunden ist um etwa 4 keV verschoben, siehe Abb. 2 (links).

Betrachtet man das zeitliche Verhalten für Cerbromid bei verschiedenen Energien (662 keV bzw. 1460 keV), so zeigt sich eine bei beiden Energien die gleiche prozentuale Verschiebung der Peaklage. Dieser Effekt ist vergleichbar mit der in [Bu *et al.*, 2018]² beschriebenen temperaturabhängigen Änderung des Verstärkungsfaktors in der Photomultiplier-Elektronik. Das beobachtete Verhalten muss im Messalgorithmus der RSL-Systeme berücksichtigt werden.

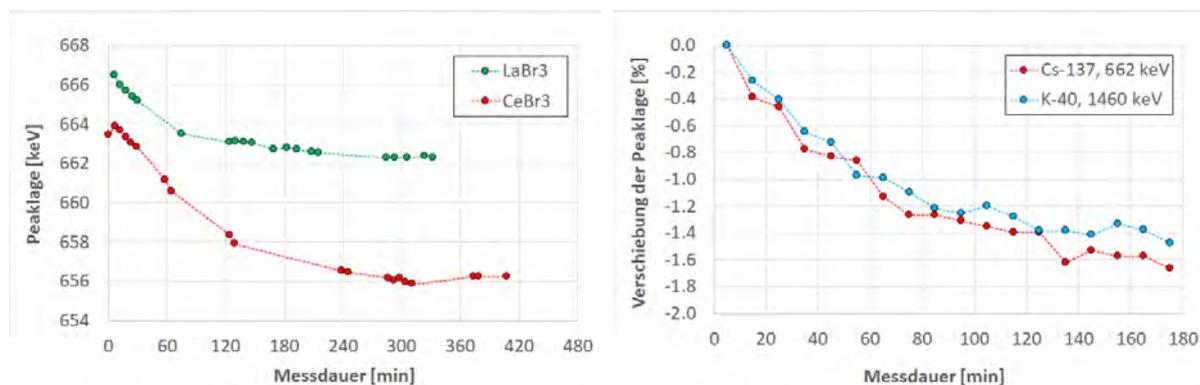


Abbildung 2: Verschiebung der Peaklage des Photopeaks von Cs-137 (662 keV) für einen Cerbromid und einen Lanthanbromid-Szintillationsdetektor (links); prozentuale Verschiebung der Peaklage bei 662 keV und 1460 keV für einen Cerbromid-Detektor (rechts).

Einfluss abschirmender Materialien

Im Rückbau kerntechnischer Anlagen werden vorhandene radioaktive Quellen durch verschiedene Materialien in unterschiedlichen Geometrien abgeschirmt. Mit einfachen Modellexperimenten wurde der Einfluss der Abschirmung auf die Koinzidenzspektren untersucht. Eine Cs-137 Quelle wurde im Abstand von 1m vor der Gamma-Kamera RSL7 positioniert und mit einem 3 mm dicken Stahlblech und anschließend zusätzlich mit einer 40 mm dicken Betonplatte abgeschirmt. In Abb. 3 (links) sind die Gamma-Spektren im Absorptionsdetektor des RSL7 (Cerbromid) sowie die Koinzidenzspektren (rechts) dargestellt. Neben der zu erwartenden Abschwächung, die insbesondere durch die 40mm Betonschicht im Gamma-Spektrum beobachtet wird, treten keine zusätzlichen Effekte durch Comptonstreuung in

² Bu M, Murray AS, Kook M, Helsted LM, Buylaert J-P and Thomsen KJ, 2018. Characterisation of scintillator-based gamma spectrometers for determination of sample dose rate in OSL dating applications. Radiation Measurements 120: 253–259, DOI 10.1016/j.radmeas.2018.07.003.

den Abschirmmaterialien in den Koinzidenzspektren auf. Die Untersuchungen werden mit komplexeren Abschirmaufbauten fortgesetzt.

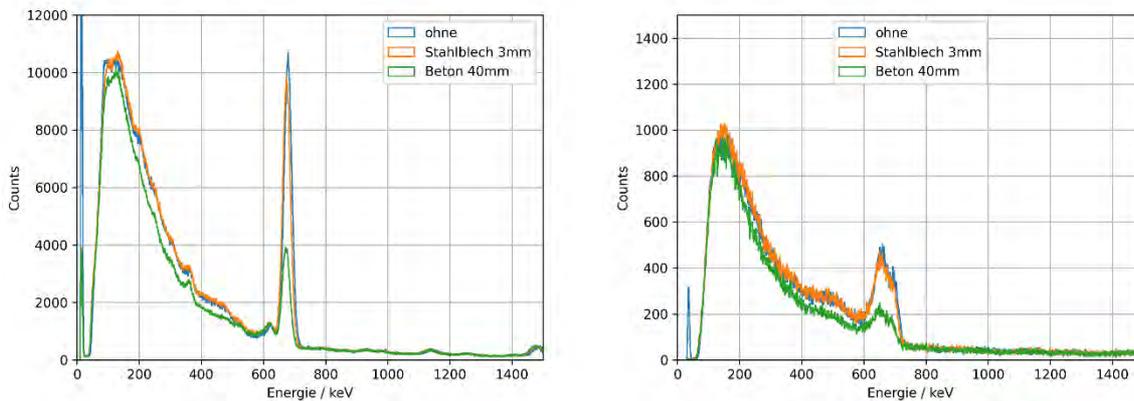


Abbildung 3: Gamma-Spektren im Absorptionsdetektor des RSL7 (links); Koinzidenzspektren (rechts) – eine Cs-137 Quelle wurde in 1 m Abstand vor der Gammakamera positioniert (blaue Kurve), mit 3mm Stahlblech (orange) und zusätzlich mit 40 mm Beton abgeschirmt (grün).

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. Weitere Simulationen für die in Entwicklung befindliche Gamma-Kamera „RSL4“ werden durchgeführt.

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 4.3

Die Laborexperimente mit RSL7 und RSL2 werden fortgeführt, weitere Versuchsreihen mit RSL4 werden sich nach Verfügbarkeit anschließen. Dabei werden die Anpassung des Kalibrieralgorithmus, der Einfluss von Abschirmungsmaterialien und Störstrahler und der Vergleich mit FLUKA-Simulationen die hauptsächlich zu bearbeitenden Gesichtspunkte sein.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9431D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., D-01328 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, Teilvorhaben: 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

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

AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen

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

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

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

AP 6 Workshop & Dokumentation

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

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

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

6.4 Abschlussbericht (3/2024-5/2024)

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

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.

Für die Definition der Nuklidvektoren konnte anhand von Testmessungen nachgewiesen werden, dass Am-241 mit seiner Gammaenergie von 59 keV am unteren Ende des möglichen Messbereiches liegt. In der Praxis wird es sich hier als schwierig erweisen dieses eindeutig nachzuweisen, da sowohl der Photopeak als auch die Comptonkante stark von Röntgenlinie überlagert werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 5.2 Validierungsmessungen am VKTA

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

noch keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	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: Verbundvorhaben: Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit. Teilvorhaben A: Entwicklung, Erprobung und Bewertung neuer Konditionierungsverfahren mit Nuklidseparation zur Volumenreduktion	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 30.06.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.219.438,39 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Chem. H.–J. Friedrich	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hans-juergen.friedrich@ikts.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

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

AP1: Die Aktivitäten zu 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. Der Graphit aus der thermischen Säule konnte elektrochemisch relativ rasch und fast vollständig in wasserlösliche Verbindungen überführt werden. Bereits nach wenigen h Behandlungsdauer fanden sich mehr als 50% des C-14-Inventars in den alkalischen Gaswäschen. Der verbleibende Anteil fand sich in wachsartigen oxidierten organischen Intermediaten des elektrochemischen Abbaus, die in Säuren schwerlöslich, in Wasser jedoch leicht löslich waren. Entsprechende Untersuchungen mittels UV-VIS und Fluoreszenzspektrometrie indizieren das Vorhandensein von organischen Säuren sowie von Verbindungen mit Ketogruppen im Molekül. Europium-152 ging bei der elektrochemischen Graphitoxidation größtenteils in Lösung. Co-60 konnte hingegen nicht nachgewiesen werden, was einer weiteren Klärung bedarf.

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

AP5: Die abschließenden Untersuchungen zur Nutzung biochemischer Reaktionskaskaden zur Voranreicherung von C-14 aus freigesetztem C-14-CO₂ verzögerten sich wegen eines Gewährleistungsmangels am dafür beschafften Bioreaktor.

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: Mit der Bearbeitung wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Ein abschließendes Verbundmeeting ist für das II. Quartal 2023 geplant

AP2: Die Bearbeitung ist abgeschlossen.

AP3: Die Untersuchungen zur vollständigen elektrochemischen Vergasung von Reaktorgraphit werden mit radioaktivem Reaktorgraphit fortgesetzt, wobei die Umsetzbarkeit der wasserlöslichen Intermediate geprüft werden soll.

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 2021 begonnene Projekt C-14-Recy von Interesse.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Wichtige Ergebnisse des Projektes wurden auf der Innovationsmesse der PreussenElektra GmbH am 14./15.09.2022 im KKW Isar II dem Fachpublikum vorgestellt.

Berichtszeitraum: 30.06.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9407B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Bergakademie Freiberg	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben GraKon – Entwicklung neuer Verfahrensansätze zur endlagergerechten Konditionierung von Reaktorgraphit Teilvorhaben B: Entwicklung und Erprobung von Verfahrensansätzen zur Vergasung von Reaktorgraphit für die optimale Abtrennung radioaktiver Kontaminationen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2018 bis 30.06.2023	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 Ergänzungen zu 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 dem Korngrößeneinfluss bei der Umsetzung von Reaktorgraphit mit O₂ und mit CO₂.
- Um den Korngrößeneinfluss auf die Kinetik prüfen zu können, wurden Versuche mit Reaktorgraphit der Körnung von 2 bis 6,3 mm im Temperaturbereich von 600 °C bis 950 °C bei 1 bar in Sauerstoffatmosphäre (20 Vol.-% O₂ und 80 Vol.-% N₂) durchgeführt und mit den Ergebnissen mit der Körnung <200 µm verglichen. Als Vergleichskriterium wurde der Reaktivitätsindex R gewählt. Durch die gröbere Körnung wird der Reaktivitätsindex als Ausdruck für die scheinbare Reaktionsgeschwindigkeit bei der Reaktion mit Sauerstoff um einen Faktor von ca. 7 herabgesetzt (z.B. $R_{200\mu\text{m}} = 14,4$ vs. $R_{2-6,3\text{mm}} = 2,5$ bei 900 °C oder $R_{200\mu\text{m}} = 3,30$ vs. $R_{2-6,3\text{mm}} = 0,47$ bei 800 °C).
- Die aus den experimentellen Untersuchungen ermittelten kinetischen Parameter (Potenzansatz) zeigen für die beiden Korngrößen eine annähernde Übereinstimmung. In Regime II wurde für die Körnung 2 - 6,3 mm eine Aktivierungsenergie von 186 kJ/mol und ein präexponentieller Faktor von $0,9 \times 10^6$ 1/s ermittelt (für 600 - 850 °C, Umsatz 30 Ma.-%) gegenüber der feinen Körnung (<200 µm) mit 178,4 kJ/mol und $2,3 \times 10^6$ 1/s (für 600 - 900 °C, Umsatz 30 Ma.-%). Die Ähnlichkeit der kinetischen Parameter einerseits und die deutlich unterschiedlichen Reaktivitätsindizes andererseits weisen darauf hin, dass die Korngrößenabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit hauptsächlich durch die äußere Kornoberfläche bzw. durch das Verhältnis der äußeren Oberfläche zum Partikelvolumen bestimmt wird.
- Analog zu diesen Untersuchungen wurde die Korngrößenabhängigkeit der Umsetzung des Reaktorgraphits mit CO₂ im Temperaturbereich 900 - 1400 °C (bei 1 bar in 100 Vol.-% CO₂) überprüft.
- Bei Einsatz der gröberen Körnung wird der Reaktivitätsindex um den Faktor von ca. 11 herabgesetzt. (z.B. $R_{200\mu\text{m}} = 18,8$ vs. $R_{2-6,3\text{mm}} = 1,7$ bei 1300 °C). D. h., die relativ langsame Umsetzung mit CO₂ wird noch deutlicher von der Korngröße und damit der äußeren Oberfläche bestimmt als die relativ schnelle Oxidation mit Sauerstoff.
- Die Aktivierungsenergie ist auch für die Reaktion mit CO₂ bei der feinen (mit 293,6 kJ/mol) und gröberen (mit 282,4 kJ/mol) Körnung in Regime I nahezu identisch.

AP 340 und AP 600:

- Die in den letzten Zwischenberichten vorgestellten Vergasungs- bzw. Oxidationskonzepte wurden nach Absprache mit dem Projektpartner IKTS auf einen Durchsatz von 1,15 kg/h anstatt 11,5 kg/h Reaktorgraphit angepasst. Das ist auf die begrenzte Durchsatzleistung der nachfolgenden Gasaufbereitung durch Isotopentrennung zurückzuführen. Darüber hinaus wurde eine weitere Variante mit Wasserdampfvergasung konzipiert.
- Die erste Variante beinhaltet die Konversion mit O₂. Als Zielgaskomponente für die nachfolgende Isotopentrennung wurde CO definiert. 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 2,7 kg/h. Im Gegensatz zum Durchsatz von 11,5 kg/h ist in diesem Fall auf Grund der anlagenspezifisch höheren Wärmeverluste keine

Rückführung von Produktgas notwendig, weil die adiabate Konversionstemperatur 1450 °C nicht überschreitet und in diesem Fall kein Temperaturmoderator notwendig ist.

- Die zweite Variante betrifft ebenfalls die Umsetzung des Reaktorgraphits mit O₂ allerdings mit der Zielgaskomponente CO₂ und Produktgasrückführung. Die thermodynamische Berechnung ergab einen maximal möglichen CO₂-Gehalt von 94,4 Vol.-% bei einem Gesamtrohgasvolumenstrom von 20,7 kg/h (Rest CO, H₂ und N₂). Bei einem Anteil an rückgeführtem Produktgasstrom von 0,8 ergibt sich eine adiabate Konversionstemperatur von 1435 °C.
- In Variante 3 wurde die hydrierende Vergasung mit dem Zielprodukt CH₄ betrachtet. Die maximale Konzentration von CH₄ im Produktgasstrom beträgt 38,0 Vol.-%. Der Rest ist (thermodynamisch bedingt) nicht umgesetzter Wasserstoff. Der Rohgasvolumenstrom beträgt 1,85 kg/h. Die sich ergebende adiabate Konversionstemperatur beträgt in diesem Fall 767 °C bei 20 bar. Wird der Prozess im kinetisch bevorzugten Temperaturbereich um 1100 °C und 20 bar betrieben, wird die Konzentration von CH₄ im Produktgas auf ca. 9,1 Vol.-% abgesenkt.
- Die vierte Variante beinhaltet die Konversion des Reaktorgraphits mit Wasserdampf. Die Zielkomponente für die nachfolgende Isotopentrennung ist in diesem Fall Methanol. Dafür muss das erzeugte Synthesegas, bestehend aus H₂, CO₂ und CO, idealerweise eine Stöchiometriezahl von 2,05 bis 2,1 aufweisen. Thermodynamische Berechnungen ergaben für die Umsetzung des Reaktorgraphits eine Gaszusammensetzung von ca. 60,3 Vol.-% H₂, 19,2 Vol.-% CO und 20,5 Vol.-% CO₂ und damit eine Stöchiometriezahl von ca. 1. Für die prozesstechnische Optimierung ist deshalb die Integration eines CO-Konvertierungsreaktors notwendig. Außerdem ist eine aufwendigere Gasreinigung bzw. Gaskonditionierung mit Prozessschritten zur Staubentfernung, Gaskühlung, Wasserdampfzugabe und -kreislaufführung sowie ggf. eine Purgegas-Rückführung erforderlich. Dadurch wird die Gesamtprozesskette sehr komplex, aufwendig und auch unter Berücksichtigung der sehr geringen Durchsatzleistung spezifisch sehr teuer.

4. Geplante Weiterarbeit

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

- Weitere Anpassung des Konversionskonzeptes auf der Basis der experimentell ermittelten Prozessparameter und unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Projektpartners zur Isotopenabtrennung,
- Weiterentwicklung thermodynamischer Modelle für die Prozesskette auf der Basis der Software ASPEN Plus und Überprüfung der technischen Realisierbarkeit der Prozesskette mit Methanolsynthese.
- 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

Shalnev, S., Krzack, S., Meyer, B., Gräbner, M.: Development of process approaches for the gasification of nuclear graphite for the optimal separation of radioactive contamination. International Freiberg Conference on Waste Gasification, Freiberg, 19.-21. September 2022

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	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: Verbundvorhaben: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilvorhaben A: Verfahrensentwicklung zur Dekontamination und Konditionierung der Prozessmedien einschließlich Gewinnung/Herstellung und Charakterisierung von Betonproben	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 30.04.2023	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)

- AP1: Die Aktivitäten zu AP 1 erfolgten planmäßig.
- AP2: Die Charakterisierungen sind abgeschlossen.
- AP3: Es wurden Untersuchungen zur Anpassung der radiochemischen Analytik an die stoffliche Matrix vorgenommen. Die Arbeiten sind abgeschlossen.
- AP4: Mit dem Aufbau der Anlage im Radionuklidlabor des IKTS, der Inbetriebnahme und dem erfolgreichen Funktionsnachweis wurde ein wesentlicher Fortschritt erzielt.
- AP5: Die vorbereitenden Arbeiten mit inaktiven Prozesslösungen sind abgeschlossen. Die Versuchstechnik wurde danach im Rahmen einer Demontage gründlich überprüft und steht nach Reinigung bzw. Austausch von Verschleißteilen für die abschließenden Untersuchungen bereit.
- AP6: Eine Bearbeitung war im Berichtszeitraum noch nicht möglich.
- AP7: Es wurde ausgehend von der Probenmatrix für die Versuchsreihen mit radioaktiv kontaminiertem Beton ein Stoffstromkonzept erstellt, das alle im Gesamtprozess auftretenden Stoffströme und deren erwartete Mengen umfasst.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- AP1: Ein abschließendes Verbundmeeting ist für das II. Quartal 2023 geplant.
- AP2: Die Untersuchungen sind abgeschlossen.
- AP3: Die Untersuchungen sind größtenteils abgeschlossen.
- AP4: Als nächstes ist die Erprobung der gesamten Prozesskette mit inaktivem Beton vorgesehen, um verbleibende Kontaminationsmöglichkeiten zu erfassen und abzustellen und um die Stoffstrom-Bilanzierung in quantitativer Hinsicht zu verbessern. Abschließend erfolgt die Erprobung radioaktiven Betonproben aus dem KKW Stade und vom VKTA Rossendorf sowie zu Vergleichszwecken mit gezielt kontaminierten Betonproben mit bekannter Zugabe von Co-60, Cs-137, Eu-152 und Sr-90.
- AP5: Die Untersuchungen werden mit radioaktivem Prozesswasser fortgesetzt.
- AP6: Die Bearbeitung wird wie geplant durchgeführt.
- AP7: Die Bearbeitung wird 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.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Wichtige Ergebnisse des Projektes wurden auf der Innovationsmesse der PreussenElektra GmbH am 14./15.09.2022 im KKW Isar II dem Fachpublikum vorgestellt.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9413B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: ImpulsTec GmbH, Wilhelm-Eichler-Straße 34, 01445 Radebeul	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben Verfahrensentwicklung zur Abtrennung kontaminierter Bestandteile aus Beton beim Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilvorhaben B: Verfahrensentwicklung zur Abtrennung von radioaktiv kontaminierten Zementstein mittels elektrohydraulischer Fragmentierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2019 bis 30.04.2023	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

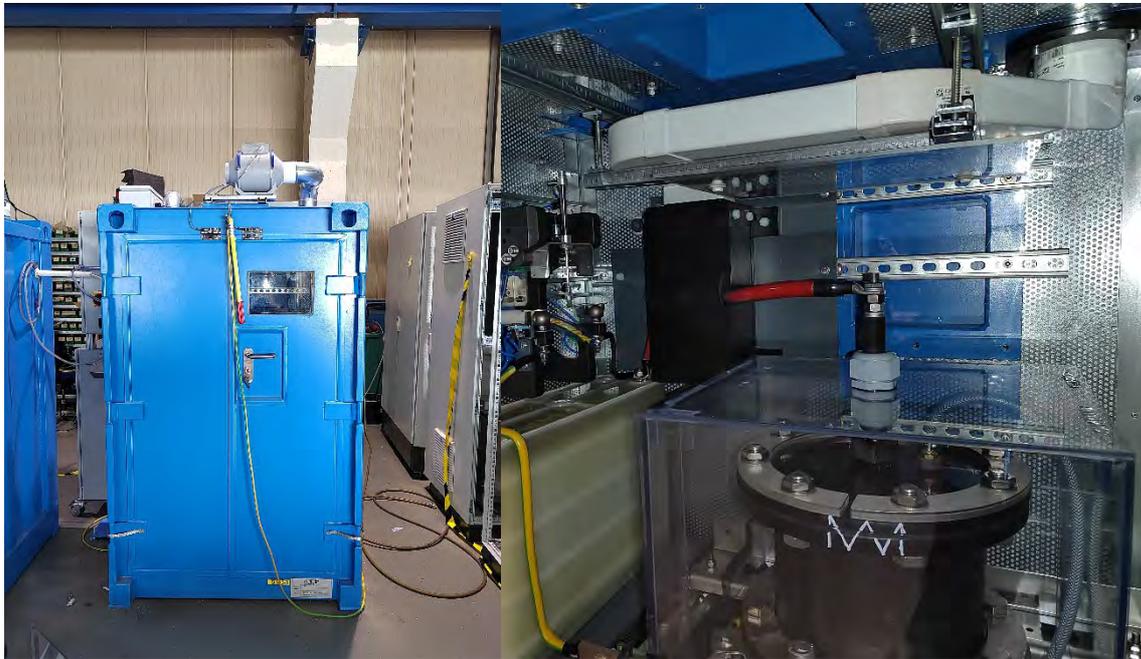
AP6: Stoffstrom-/Radionuklidbilanzierung, Verfahrensbewertung, Fortschreibung Verwertungskonzept

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 am Standort der ImpulsTec in Radebeul fertiggestellt und in Betrieb genommen. Neben der

Funktionsprüfung inklusive Referenztests zur Zerlegung von Betonproben, stand vor allem die Vorbereitung des Handling für kontaminiertes Material auf den Plan. Nach der Erprobung und dem Nachweis der Funktionsfähigkeit sowie dem einfachen Wechsel/Öffnen des Reaktors, wurde der Teststand anschließend demontiert und beim Projektpartner Fraunhofer IKTS wiederaufgebaut.



Testanlage (links), Innenansicht: Versuchsreaktor mit Spritzschutz (rechts)

- AP3: Die Arbeiten zur systematischen Untersuchung des Betonaufschlusses wurden vorerst zurückgestellt. Die systematische Auswertung zur Qualifizierung der Ergebnisse erfolgt am Ende des Projektes gemeinsam mit dem Projektpartner Fraunhofer IKTS.
- AP6: Eine Bearbeitung konnte im Berichtszeitraum noch nicht begonnen werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- AP1: Geplant ist die Übergabe der temporären Versuchsanlage für den Aufschluss kontaminierter Betonproben am Fraunhofer IKTS.
- AP3: Die Arbeiten zur Entwicklung des Aufschlussprozesses für verschiedene Betonproben sind weitestgehend abgeschlossen und sollen anschließend auf kontaminiertes Material übertragen werden.
- 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: 01.07.2022 bis 31.12.2022	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: Verbundvorhaben: Nasssiebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (NAMASK) Teilvorhaben: 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 WASS-Schnitte mit ausgewählten nicht radioaktiven austenitischen und ferritischen Stählen durchgeführt. Danach sollen die einzelnen Prozessschritte, Siebung, Filtration und Magnetseparation verbessert werden. Dann werden die Prozessschritte gemeinsam durchgeführt und es wird ermittelt, welche Wiederverwendungsquote erreicht werden kann. 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 Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2: Probenherstellung mit der WASS-Anlage

Die Planung der WASS-Schnitte wurde finalisiert. Dies wurde in Zusammenarbeit mit der Firma ANT durchgeführt. Die Herstellung der Proben mit hochlegiertem Stahl (Probenmaterial für AP3) und die Testschnitte mit niedriglegiertem Stahl (für AP1) wurden in Lübeck bei ANT durchgeführt. Hierfür waren drei Personen vor Ort. Der Transport der Stahlblöcke und des Materials sowie der Rücktransport der Proben wurden organisiert und durchgeführt.

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Mit den beiden Siebssystemen wurden Testversuche durchgeführt. Nach Berücksichtigung von Leistungs- und Sicherheitsparametern wurde ein neuer Siebaufbau mit einer Kombination aus den beiden vorherigen Aufbauten ausgewählt. Dieser wurde in Betrieb genommen und weiter verbessert. Vorversuche mit dem neuen Siebaufbau haben deutlich bessere Ergebnisse hinsichtlich des Siebfehlers und der Reduzierung der Stahlkonzentration im wiederverwendbaren Abrasiv ergeben.

Zur Überprüfung der Ergebnisse bei den bereits existierenden Magnetfiltern wurde das mit einem Siebturm gesiebte Material (Abrasiv mit einem Stahlgehalt von 0,03-0,05 %) an die Universität-Clausthal geschickt, um dieses mit einem Magnetabscheider zu untersuchen. Dieser Magnetabscheider wird mit einem Magnetfeld, das über eine Spule erzeugt wird, betrieben, so dass eine Variation des Magnetfeldes möglich ist. Die Ergebnisse zeigen, dass die magnetische Kraft in den bereits existierenden Magnetfiltern ist zu groß, so dass sowohl Stahlpartikel als auch Abrasiv abgetrennt werden.

Es wurde eine Recherche zu bereits existierenden und geeigneten Magnetfiltern durchgeführt. Kriterien für das neue Magnetfiltersystem sind der kontinuierliche Betrieb, der Einsatz im kerntechnischen Bereich und die Möglichkeit der Variation der Magnetfeldstärke. Ein solches System wurde nicht gefunden. Es gibt kontinuierliche Magnetfilter, diese sind aber nicht geschlossen, so dass Material während des Betriebs nach außen gelangen kann. So wurde ein neuer Magnetfilter, der alle Kriterien erfüllt, entwickelt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Der neue Siebaufbau wird weiter getestet, um Verbesserungen in Bezug auf die Extraktion von Feinpartikeln aus dem Siebgehäuse und Schwankungen in der Durchflussrate der Abrasivsuspension aufgrund des minimalen Unterdrucks, der im Gehäuse entsteht, zu erzielen. Zudem soll die Verweilzeit des Siebguts auf dem Siebboden durch konstruktive Änderungen am Sieb erhöht werden.

Der neue Magnetfilter soll in Betrieb genommen werden, dabei sollen derzeit händisch durchgeführte Arbeiten automatisiert werden. Für diesen Magnetfilter soll ein Versuchsstand geplant und aufgebaut werden. Mit diesem Versuchsstand sollen erste Experimente durchgeführt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9423B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilvorhaben: 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 INE liegt. Zudem sind Versuche mit radioaktiven Proben im Kontrollbereich des 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

In der zweiten Jahreshälfte lag der Schwerpunkt auf der eingehenden Analyse eines gut wirksamen, kommerziell erhältlichen Inhibitors, elektrochemischen Tests und einem WASS-Schnitt bei ANT/Consus Lübeck mit dem Inhibitor. Die Analysemethoden Röntgen-Photoelektronen Spektroskopie (XPS), sowie Säulenchromatographie in Kombination mit Kernspinresonanzspektroskopie (NMR) wurden eingesetzt, um die Zusammensetzung des kommerziellen Inhibitors zu bestimmen. Die Ergebnisse zeigten das Vorhandensein von drei Hauptkomponenten und einigen Nebenverbindungen. Die Komponenten konnten bis jetzt nicht eindeutig bestimmt werden.

Elektrochemische Tests wurden mit dem kommerziellen Inhibitor in wässriger Lösung bei verschiedenen Konzentrationen durchgeführt, um die minimal notwendige Konzentration für die Anwendung zu ermitteln. Eine Erhöhung der Konzentration führte zu einer Steigerung der Korrosionsschutzwirkung.

WASS-Schnitte an einem für Reaktordruckbehälter typischen Stahl, Werkstoffnummer 1.6310, wurden mit einer 1,5 prozentigen Lösung des Inhibitors bei ANT/Consus Lübeck durchgeführt. Während des WASS-Schneidexperiments wurden Proben des Stahl-Abrasiv-Korngemischs, des Schneidwassers mit und ohne Inhibitor genommen. Mit diesen Proben wurden SEM-EDX und XPS und elektrochemische Analysen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass der Inhibitor auch nach 7 Tagen noch eine gute Korrosionsschutzwirkung für die Stahlkörner in der Mischung aufweist.

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Mit den beiden neu entwickelten Prototyp-Siebssystemen für den kontinuierlichen Betrieb wurden Testversuche durchgeführt. Die Analysen der erhaltenen Korngemische (ICP-OES, Rasterelektronenmikroskop) am INE wurden mit den Ergebnissen der Trennexperimente verglichen und die Resultate gemeinsam mit TMB diskutiert.

Diese ersten Versuche mit den Prototypen weisen auf bessere Ergebnisse hinsichtlich des Siebfehlers und der Reduzierung der Stahlkonzentration im wiederverwendbaren Abrasiv hin.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu den Arbeitspaketen)

AP 1: Untersuchungen zur Verwendung von Korrosionsinhibitoren bei ferritischen Stählen

In der ersten Hälfte des Jahres 2023 ist geplant, weitere reine Verbindungen - vor allem filmbildende Amine - zu beschaffen und als mögliche Korrosionsinhibitoren im neutralen bis leicht alkalischen pH Bereich zu testen. Es sind Bestrahlungsversuche, z.B. im Kalibrierlabor des KIT-SUM, geplant um die Beständigkeit der Inhibitoren gegen Radiolyse zu testen. Nach der Bestrahlung wird die Wirksamkeit der Inhibitoren überprüft. Die Dosis wird dabei so gewählt, wie sie nach einer Woche im realen Korngemisch unter Wasser zu erwarten ist.

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Durch die Umstellung von einem Batch- zu einem kontinuierlichen Betrieb durch TMB sind noch weitere Entwicklungsarbeiten an den Einzelkomponenten erforderlich. Diesbezüglich werden in 2023 weitere Trennexperimente zum Vergleich der Einzelkomponenten der Filterstrecke sowie chemische Analysen des Probenmaterials (ICP-OES, Rasterelektronenmikroskop) am INE fortgeführt. Es ist auch geplant einen neuen Magnetfilter in Betrieb zu nehmen. Zusammen mit dem TMB sollen die Ergebnisse interpretiert und gegebenenfalls die Einzelkomponenten weiter

optimiert werden. Auf Basis der Ergebnisse der Trennexperimente steht die Entscheidung für die Wahl sowie die Inbetriebnahme aller Einzelkomponenten an.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9428A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e.V.	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) - Teilvorhaben: Projektkoordination sowie ökologische und radiologische Bewertungen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2021 bis 30.04.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 546.386,98 €
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 Electrocyling 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)

Am 13. Juli hat das Öko-Institut den mit dem Projektträger vereinbarten Meilensteinworkshop in Darmstadt mit paralleler Videokonferenz (hybrides Treffen) unter Teilnahme aller Projektpartner durchgeführt. Für die Recherchearbeiten hat das Öko-Institut am 24. November den Kraftwerkstandort in Philippsburg begangen, dabei den Zutritt zu maschinen- und elektrotechnischen Anlagenteilen des KKP 2 sowie des KKP 1 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. Die vorläufigen Ergebnisse sind auf dem Meilensteinworkshop vorgestellt worden.

Die Kontakte zu den Fachabteilungen der Maschinentechnik, der Leittechnik und im Abfallbereich der EnKK wurden intensiviert und in Fachgesprächen sind die Themen weiter konkretisiert worden.

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 im ersten Halbjahr 2023 fortgesetzt. Das AP 1 soll bis zum nächsten geplanten Projekttreffen am 24. Mai 2023 abgeschlossen sein. Auch wesentliche Arbeiten des AP 3, der Ermittlung des intrinsischen Materialwertes der identifizierten Komponenten, werden im nächsten Halbjahr bearbeitet. Dies entspricht einer Verlängerung der Zeitplanung um etwa 5 Monate (s. Punkt 12), was jedoch gegenüber der bereits vorhandenen Verzögerung aus dem 1. Halbjahr keiner weiteren entspricht.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bislang keine.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9428B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Clausthal - Institut für Aufbereitung, Recycling und Kreislaufwirtschaftssysteme	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA) - Teilvorhaben: 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 ÖI 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 Arbeitsprogrammpunkten)

Die Untersuchungen zur Wertmetallerhebung der Platinen wurden verstärkt durchgeführt. Die Leittechnik von Block 2 ist weitestgehend charakterisiert. Nach Rücksprache mit den Kraftwerksbetreibern wurde beschlossen, eine Hochrechnung für die Obergruppen durchzuführen, da eine exakte Hochrechnung für einzelne Bauteile nicht möglich ist. Die durchschnittlichen edelmetallgehalte der Baugruppen unterscheiden sich leicht weisen jedoch allgemein einen recht hohen Edelmetallgehalt auf. So liegt der Goldgehalt für die Baugruppe YB36 bei über 600 ppm, der Silbergehalt bei 290 ppm und der durchschnittliche Gehalt von Palladium bei über 80 ppm. Im Vergleich dazu steht die Baugruppe YB22 welche im Allgemeinen die geringsten Gehalte aufweist. Hier liegt der Goldgehalt lediglich bei 130 ppm, was allerdings noch immer den abbauwürdigen Gehalt einer Lagerstätte um ein Vielfaches übersteigt. Die für Kernkraftwerke besondere Baugruppe JKT weist einen Goldgehalt von 150 ppm und einen Silbergehalt von 220 ppm auf. Weiterhin können Bauteile aus Block 1 interessant sein, eine erste optische Einschätzung lässt auf ein vielversprechendes Ergebnis hoffen. Es soll eine Auswahl zur Analyse zur Verfügung gestellt werden. Die Vorsortierung für den Rückbau wird ebenfalls anhand der Obergruppen stattfinden. Weiterhin wurden Mittelspannungsschalter untersucht. Der Bisherige Gehalt an versilbertem Kupfer beläuft sich auf 1,8 Massenprozent, was einem Gesamtgewicht von 12,5 kg entspricht. Die bisher erzielten Ergebnisse können neben dem AKW Rückbau auch bei der Vorsortierung beim Rückbau konventioneller Kraftwerke berücksichtigt werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Im ersten Quartal von 2023 werden Untersuchungen zu den bisher nicht betrachteten Elektrobauteilen durchgeführt. Diese werden aufgrund des geringen Edelmetallgehaltes nicht chemisch analysiert sondern durch verschiedene mechanische Verfahren in die Fraktionen Kunststoff und Metall getrennt. Mittels der eingetroffenen RFA können somit schneller Ergebnisse erzielt werden. Die Hochrechnung wird ebenso wie die der Platinen erfolgen. Die Analysen der einzelnen Bauteile werden an die Electrocyling GmbH weitergeleitet um die Wertstoffgehalte mit Vergütungspreisen von Hüttenbetrieben abzugleichen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bisher keine.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9428C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: EnBW Energie Baden-Württemberg AG	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen – RecTeCKA Teilvorhaben: Ermittlung des intrinsischen Materialwerts	
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 (EnKK) liegt in der Identifizierung von Bauteilen und Komponenten, die für eine nähere Untersuchung relevant sein könnten. Dies wird sowohl für den Reaktortyp Siedewasserreaktor (SWR, KKP 1) als auch für den Druckwasserreaktor (DWR, KKP 2) 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 EnKK 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 EnKK 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 EnKK 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 EnKK 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 EnKK 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 EnKK 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 Arbeitsprogrammpunkten)

Im 2. Halbjahr 2022 wurden Arbeiten zu den AP 1.1, AP 1.2 intensiviert und fokussiert durchgeführt. Gemeinsam mit den Projektpartnern wurden Recherchen im Archiv der EnKK durchgeführt. Ergänzend wurde im Rahmen von Vor-Ort-Terminen die vorliegende Datenbasis verifiziert und detailliert. Hierzu fanden Besprechungen mit den jeweiligen Fachleuten aus den Bereichen Elektro- und Maschinentechnik statt. Die entwickelte Systematik zur Nutzung des Anlagenkennzeichens (AKZ) bzw. des Kraftwerkkenzeichnungssystems (KKS) für eine systematische Auswertbarkeit und spätere Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf andere Anlagen wurde fortgeführt.

Der kontinuierliche Kreislauf aus Abstimmungsgesprächen mit den Projektpartnern, Unterlagenrecherchen und Besprechung der Rückmeldungen wurde intensiviert. Die Quellen für Technologiemetalle konnten auf diesem Wege ein- und abgegrenzt werden.

Die durch die EnKK bereitgestellten Komponenten insb. Elektro- und leittechnische Komponenten wurden und sind in der Auswertung. Die Auswertung erfolgt durch die Projektpartner der TU Clausthal und der Firma Electrocycling.

Durch EnKK 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.

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

Am 24.11.2022 fand ein ergänzender Begehungstermin in KKP statt, bei den Fragestellungen zum Thema Elektrotechnik und Maschinentechnik mit den Experten der EnKK intensiv besprochen werden konnten und ergänzend Vor-Ort-Begehungen stattfanden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Im ersten Quartal 2023 werden die Erhebungen für das Arbeitspaket 1 weitergeführt. Hierbei liegt der wesentliche Fokus auf den Anforderungen aufgrund der Freigabeprozesse, was anhand von konkreten Komponenten erfolgt. Die hierzu bereits ausgewählten Komponenten weisen in unterschiedlichem Umfang interessierende Technologiemetalle auf, so dass am Ende Beispiele für die Kombinationen von Technologiemetallen und Aufwände für die mögliche Freigabe vorliegen.

Mit den vorgenannten Arbeiten liegt auch eine erweiterte Basis für den AP 2 vor, mit der die Bewertung der strahlenschutzrechtlichen Freigabe oder Herausgabe derart aufbereitet ist, um die vorgesehenen Demontagestudien im Rahmen des AP 2.1 zielführend unterstützt werden können.

Im Rahmen des Verbundvorhabens RecTeckA war der Wunsch / der Vorschlag hervorgebracht worden, für die weiteren Arbeitsschritte wie die theoretische Ausarbeitung von Demontagen einen Besichtigungstermin am AKW Zwentendorf durchzuführen. Da es sich um einen baugleichen Reaktor zu KKP 1 handelt, und dieser noch in dessen Originalzustand erhalten ist, kann gerade den Partnern mit wenig Anlagenkenntnis (insbesondere der räumlichen Anordnung von Komponenten) einiges an Anschauungsmaterial vermittelt werden, was so im Strahlenschutzregime des Rückbaus nur schwer möglich ist. Die Besichtigung ist für das zweite Quartal 2023 vorgesehen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9428D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Electrocycling GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecteckKA) – Teilvorhaben: 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: 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

AP 1: Identifizierung von Anlagenteilen und Komponenten mit hohem Recyclingpotential

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

AP 2: Inventarerhebung Technologiemetalle KKW Philippsburg 1 und 2

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

AP 3: Ermittlung des intrinsischen Materialwerts

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

AP 4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und ökologische Betrachtung

ECG unterstützt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Informationen aus den einzusetzenden Aufbereitungsprozessen

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

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

Das von der ENBW Kernkraft GmbH gelieferte Material wurde grob in 3 Hauptkategorien sortiert.

1. Leiterplatten
2. Baugruppen mit Leiterplatten
3. Material zur mechanischen Aufbereitung (Schalterschrott)

Hier wurden zunächst ein besonderer Fokus auf die Leiterplatten gelegt. Diese wurden bereits von der TU-Clausthal analysiert und von der Electrocycling entsprechend bewertet.

Ergebnis: Es zeigte sich, dass einige Leiterplatten überdurchschnittlich hohe Gehalte von Au (Gold) und Pd (Palladium) aufweisen.

Die Baugruppen mit Leiterplatten befinden sich derzeit noch in der Demontagestudie.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im nächsten Arbeitsprogramm, beschäftigt sich Electrocyling mit dem sogenannten Schalterschrott. Hier wird ebenfalls eine Demontagestudie durchgeführt und bewertet.

Bei dem Schalterschrott sollen neben den Technologiemetallen auch spezielle Legierungen untersucht und bewertet werden. Ein weiterer Punkt ist die mechanische Aufbereitung dieser Bauteile. Durch die durchgeführten Demontagestudien können Sortierkriterien, Aufbereitungsschritte bewertet und ggfs. optimiert werden.

Des Weiteren unterstützt die Electrocyling andere Projektpartner bei der Bewertung von Massenmetallen (Stahlsorten, Kupfer etc.)

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	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: Verbundvorhaben: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagerechten Konditionierung C-14-belasteter flüssiger organischer Abfälle Teilvorhaben: 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 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

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

- AP010: Das zweite Verbund-Meeting wurde am 12.12.2022 durchgeführt.
- AP100: Die Beschaffungsvorgänge für die zur Bearbeitung erforderlichen Ausrüstungsgegenstände laufen weiterhin. Es wurden Arbeiten zur Anlagenplanung durchgeführt.
- AP200: Die Untersuchungen wurden auf C2- und C3-Verbindungen ausgeweitet, wobei sich auch im Vergleich zu C1-Verbindungen jeweils ein ähnliches Freisetzungsmuster abzeichnet, deren gemeinsames Merkmal eine initiale Reaktionsphase ist, in der keine bzw. kaum CO₂-Freisetzung, sondern zunächst eine partielle Oxidation erfolgt.
- AP300: Mit der Bearbeitung wurde noch nicht begonnen.
- AP500: Im Berichtszeitraum waren hierzu keine Arbeiten vorgesehen.
- AP600: Im Berichtszeitraum waren hierzu keine Arbeiten vorgesehen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- AP010: Die Bearbeitung wird planmäßig fortgesetzt.
- AP100: Die Arbeiten werden fortgesetzt. Der Anlagenaufbau soll im 2. Halbjahr 2023 erfolgen.
- AP200: Die Untersuchungen werden schrittweise auf weitere relevante chemische Verbindungen ausgedehnt.
- AP300: Mit der Bearbeitung wird im 2. Halbjahr 2023 begonnen.
- AP500: Es sind methodische Entwicklungsarbeiten vorgesehen, speziell im Hinblick auf die Absenkung der Nachweisgrenzen.
- AP6: Die Bearbeitung erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es sind z.Z. keine für die Bearbeitung relevanten anderen Vorhaben bekannt.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Wichtige Ergebnisse des Projektes wurden auf der Innovationsmesse der PreussenElektra GmbH am 14./15.09.2022 im KKW Isar II dem Fachpublikum vorgestellt.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9433B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., D-01328 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagergerechten Konditionierung C14-belasteter flüssiger organischer Abfälle Teilvorhaben: 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, dass 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 vorhandenen 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 (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

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)

Die Beta-Zerfallsenergie des C-14 liegt mit 156 keV sehr niedrig im Vergleich zu den im Rückbau typischen Gammastrahlern. Mit dem vorhandenen Prototyp erfolgten Messungen an einer C-14 Standardquelle mit Hilfe des mit Szintillatorcocktail gefüllten Schlauchs. Zur Abschirmung von Licht wurde der Schlauch zusätzlich mit einer Kunststoffschicht ummantelt. Es zeigte sich, dass die Zerfallsenergie zu niedrig ist, um die Ummantelung und den Schlauch zu durchdringen und einen Energieübertrag an die Szintillatorcocktails auszulösen. Aus technologischer Sicht ist eine Verringerung der Schlauchwandstärke jedoch nicht mehr möglich, sodass hier der Umstieg auf Szintillatorkristalle notwendig wird.

Aufgrund des Aufkauf unseres bisherigen Anbieters für Silizium-Photomultiplier und die zugehörigen Readout-Boards ist ein Umstieg auf einen anderen Anbieter notwendig. Hier erfolgt aktuell die Entwicklung einer passenden Spannungsversorgung sowie die Konstruktion einer stabilen Messanordnung für die Messung mit Schlauch und Szintillatorkristall.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Fortführung der oben genannten AP.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

noch keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9433C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: IUT - Institut für Umwelttechnologien GmbH, Justus-von-Liebig-Str. 6, 12489 Berlin.	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagegerechten Konditionierung C-14-belasteter flüssiger organischer Abfälle Teilvorhaben: Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Isotopentrennung zur Rückgewinnung von C-14	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 bis 30.09.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 148.838,38 €
Projektleiter/-in: Frau Kirsten Guthmann-Scholz	E-Mail-Adresse des/des 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 bisher nur verbrannt werden. Die Kapazitäten dafür sind begrenzt. Dies ist jedoch nicht für alle Abfälle dieser Art möglich, so dass ein Entsorgungsproblem entsteht. Die Entsorgung und Zwischenlagerung solcher Abfälle ist daher mit sehr hohen Kosten verbunden.

Bisherige Untersuchungen lassen erwarten, dass auf der Basis der elektrochemischen Totaloxidation ein vielversprechendes Alternativverfahren etabliert werden kann, das diese Nachteile vermeidet, da das C-14-Inventar unter Volumenreduktion in lagerfähiges C-14-CaCO₃ überführt wird. Dazu soll das Verfahren weiter optimiert und darauf aufbauend ein C-14-Recyclingprozess zur Reduzierung des C-14-Umlaufs entwickelt und im Pilotmaßstab demonstriert werden. Damit 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

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

- AP010: Zweites Meeting in Dresden durchgeführt (14.12.2022). Besuch des VKTA am IUT.
- AP200: Renovierungsplanung und Vorbereitung der Räume. Rohr-Ofenparameter optimiert.
- AP300: Die weiterführende Testung des für das Projekt angeschaffte Massenspektrometer hat ergeben, dass es für die Bestimmung der Reinheit und der quantitativen Isotopenzusammensetzung nicht geeignet ist. Die Recherche nach einem geeigneten kommerziellen Massenspektrometer wurde aufgenommen. Erste Gespräche mit Anbietern wurden geführt.
- AP400: Eine erste Abstimmung mit IKTS über Größe und Ausstattungsmerkmale der vom IUT bereitzustellenden Handschuhbox ist erfolgt. Eine endgültige Spezifikation der erforderlichen Abmaße und Ausstattung verzögert sich auf Grund von Beschaffungsprobleme beim IKTS.

Die Erneuerung der Ab- und Zuluftanlage für die Labore im Gebäudeteil 2.7 ist beauftragt.

- AP500: Es waren keine Arbeiten geplant.
- AP600: Eine Patentrecherche wird vorbereitet. Die Kommunikation mit potentiellen Kunden wird fortgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- AP010: Das nächste Verbundmeeting ist für Ende 2. oder Anfang 3. Quartal 2023 beim IUT geplant.
- AP200: Start der Renovierungsarbeiten im Gebäude 2.7 nach Vorliegen der Anforderungen für Medien und Maße der Handschuhbox seitens IKTS.
- AP300: Abschluss der Recherche nach einem geeigneten Massenspektrometer und Beschaffung des erforderlichen Spektrometers.
- AP400: Beauftragung und Bau der erforderlichen Handschuhbox für die Elektrolyseeinheit.
- AP500: keine Arbeit geplant.
- AP600: Know-how-Absicherung. Wissenschaftliche Verwertung.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es sind keine für die Bearbeitung relevanten anderen Vorhaben bekannt.

6. Berichte und Veröffentlichungen

-keine-

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9406A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Framatome GmbH (Framatome)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) Teilvorhaben: Online-Messungen des Neutronenflusses	
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), AP10 (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 AP15 (Datenbank) gearbeitet. In AP1 wurde an der Auslegung der mobilen Messanlage gearbeitet. Das Basic Design und Detail Engineering des Containers ist abgeschlossen. Die Größe des Containers wurde reduziert, so dass der Transport und die Installation beim Kunde effizienter laufen. Es wurde weiterhin an der Betriebsanleitung und den Gefährdungsbeurteilungen gearbeitet. Diese Unterlagen sind Grundlagen für die angestrebte CE Zertifizierung. In AP5 (Softwareentwicklung für Betrieb und Messdatenauswertung) wurden einige Verbesserungen durchgeführt: es ist nun möglich für den Messingenieur die Verwendung eines Winkelringadapterkäfigs in der GUI direkt einzugeben. Diese Information ist notwendig für die daraus folgende Auswertung. Zudem wurde der Automatisierungsgrad der Kommunikation zwischen der Framatome Steuerung und der Software von AiNT (automatische Übergabe der Messdaten wie Fass-ID und Mess-ID) erhöht. In AP15, wurden die geplanten Arbeiten für die Weiterentwicklung und die Erweiterung des Datenbankmodells durchgeführt. Die neue und erweiterte Datenbank erlaubt die Speicherung und Benutzung von zusätzlichen Eingangsdaten (z.B. initiale Zusammensetzung einer Matrice), die die Auswerteschritte bei der Auswertung vereinfachen. In AP10 (Experimentelle Validierung mit radioaktiven Abfällen) wurde intensiv an der Suche nach radioaktiven Abfallfässern gearbeitet. Die Bestellungen für die Spaltkammer und die entsprechende Elektronik wurden ausgelöst. Die Elektronik wurde vollständig angeliefert. Die Anlieferung der Spaltkammer ist für Ende Februar 2023 geplant.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In 2022 wird an die CE Kennzeichnung weitergearbeitet (AP1). Die restlichen Arbeiten (Erweiterung des UDP Protokolls) werden in AP5 abgeschlossen. Die Arbeiten zum Einbau der neuen Spaltkammer werden durchgeführt ebenso wie unterstützende Tätigkeiten im Bereich AP10 (In AP10 (Experimentelle Validierung mit radioaktiven Abfällen)). Die MCNP Simulationen zur Bestimmung der Ortsdosisleistung der mobilen Anlage werden durchgeführt (AiNT) und das Modell des Containers wird bei Bedarf angepasst.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

L. Coquard et al. „**Non-destructive verification of materials in waste packages using QUANTOM®**“, EPJ Nuclear Sci. Technol. 9, 5 (2023)

<https://doi.org/10.1051/epjn/2022043>

<https://www.epj-n.org/articles/epjn/abs/2023/01/epjn220043/epjn220043.html>

Veröffentlichung ATW:

L. Coquard, A. Havenith „Zerstörungsfreie Plausibilitätsprüfung der stofflichen Beschreibung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM“, atw, International Journal for Nuclear Power, Ausgabe 1, 2023

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

Presse Mitteilung Framatome:

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

Presse Mitteilung GRS:

<https://www.grs.de/de/aktuelles/grs-projekttraeger-europaeische-kommission-zeichnet-zwei-forka-projekte-aus>

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: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9406B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) Teilvorhaben: Methoden- und Softwareentwicklung	
Laufzeit des Vorhabens: von 01.09.2018 bis 28.02.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 840.006,00 €
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 raumaufgelöste 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 Matrices (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® abgeschlossen (AP1). Der Aufbau und die Inbetriebnahme der Messanlage im Technikum von AiNT wurde im 2. HJ 2020 abgeschlossen (AP9). Im Oktober 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 Messanlage wurden im Jahr 2021 und 2022 die experimentellen Messdaten (PGNAA-Spektren) für die nichtradioaktiven homogen verteilten Referenzmaterialien im Abfallfass sowie eine erste Charge von radioaktiven Abfallfässern erhoben.

Im zweiten HJ 2022 wurde an der Erweiterung des Codes für die probabilistische Unsicherheitsanalyse (AP14) gearbeitet. Die Ergebnisse der probabilistischen Unsicherheitsanalyse werden zur Berechnung von Erkennungs- und Nachweisgrenzen gemäß DIN ISO 11929 benötigt und ermöglichen die Sensitivitätsanalyse für eine Messung im Rahmen des Auswerteverfahrens.

Innerhalb von AP5 wurde an der automatischen Spektrenauswertung und der iterativen Kopplung der einzelnen Softwaremodule in der Auswertesoftware gearbeitet. Der Fokus bei der Weiterentwicklung der automatischen Spektrenauswertung lag auf der Robustheit und der Qualitätssicherung der Automatisierung. Die gesamte Auswertesoftware ist eine Verkettung sämtlicher im Projekt entwickelten oder weiterentwickelten Softwareprogramme, u.a. für die Gamma-Transportmodellierung (TRACER) und Neutronen-Transportmodellierung (SPARC) und wurde auf dem HPC-Cluster von AiNT installiert und getestet. Die Tests des Auswerteverfahrens zeigen, dass stark abweichende initiale Elementzusammensetzungen dazu führen, dass das iterative Auswerteverfahren mehr Iterationen benötigt, bis ein Konvergenzkriterium erfüllt ist. Mehr als 7 Iterationen waren bis dato bei keiner Auswertung notwendig. Das Konvergenzkriterium wurde im Berichtszeitraum entwickelt und getestet. Ist die Abfallmatrix bekannt und sind die initialen Annahmen zur Zusammensetzung der Abfallmatrix somit besser, so sind 3 bis 5 Iteration realistisch bis hinreichend.

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. Basierend auf den simulativen Abschirmberechnungen werden technische Maßnahmen zur Einhaltung der ODL-Grenzwerte vorgeschlagen.

Bis zum Projektabschluss wird die Auswertung von radioaktiven Abfallfässern und der nichtradioaktiven heterogenen/teilbeladenen Referenzmaterialien fortgeführt. Die meisten experimentellen Messungen hierzu sind bereits abgeschlossen, wobei für einen Teil der gemessenen Abfallfässer der rechenintensive Auswerteprozess noch nicht abgeschlossen wurde. In Q1 2023 werden weitere experimentelle Messungen mit nichtradioaktiven und radioaktiven Referenzfässern durchgeführt. Die nichtradioaktiven Referenzfässer beinhalten pelletierte Abfälle einer einzelnen Abfallkategorie (z. B. Bauschutt, Dämmwolle, Elektroschrott, PVC oder Mischabfall). Die Elementsignaturen dieser Abfallkategorien werden aufgenommen, damit diese Daten für zukünftige Entwicklungstätigkeiten zur Verfügung stehen. Sämtliche Ergebnisse der Messungen und Auswertungen der Referenzfässer werden in einem Validierungsbericht dokumentiert. Bei erfolgreichem Abschluss der Validierungsphasen ist das Messverfahren im Rahmen des Projekts überprüft und validiert. Diese Validierung ist eine Grundlage zur Qualifizierung des Messverfahrens im Endlagerverfahren Konrad. In AP12 wurde die erforderliche Messelektronik für den Betrieb der Spaltkammer im Jahr 2022 angeliefert und die Spaltkammer bestellt. Die Lieferung der Spaltkammer zum FINT erfolgt jedoch voraussichtlich erst Ende Februar 2023. Eine Testphase wird zuerst vor Ort bei FINT durchgeführt. Anschließend erfolgt der Einbau in die Messanlage in Stolberg ebenso wie die Inbetriebsetzung und der Probetrieb.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

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.: **Non-Destructive verification of materials in waste packages using QUANTOM®**, EPJ Nuclear Sci. Technol. 9,5 (2023); https://www.epj-n.org/articles/epjn/full_html/2023/01/epin220043/epin220043.html.

Dr. Laurent Coquard, Dr. Andreas Havenith, et al.: **Zerstörungsfreie Plausibilitätsprüfung der stofflichen Beschreibung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM®**, atw - International Journal for Nuclear Power, Ausgabe 1 Januar 2023.

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

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: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9406C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer-INT für die Fraunhofer-Gesellschaft	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien (QUANTOM) Teilvorhaben: 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 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 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)

In AP12 wurde die Implementierung der direkten Messung der Totzeit der beiden Elektronikmodule durchgeführt. Anschließend erfolgte ein Test des Verfahrens, um zu überprüfen, inwieweit das neue Verfahren zu einer Verbesserung der Messwerte führt. Des Weiteren wurde die Beschaffung einer geeigneten Spaltkammer nebst zugehöriger Auswerteelektronik fachlich begleitet. Die Auswerteelektronik wurde bereits geliefert, die Lieferung der Spaltkammer wird Ende Februar erfolgen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In AP12 wird nach Lieferung der Spaltkammer diese zusammen mit der Auswerteelektronik im FINT aufgebaut und getestet. Anschließend wird die Spaltkammer zusammen mit der Auswerteelektronik nach Stolberg transferiert und in die QUANTOM-Anlage eingebaut. Dort wird sie in Betrieb genommen sowie ein Probetrieb des Systems in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern vorgenommen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

L. Coquard et al. „Non-destructive verification of materials in waste packages using QUANTOM[®]“, EPJ Nuclear Sci. Technol. **9**, 5 (2023)
<https://doi.org/10.1051/epjn/2022043>
<https://www.epj-n.org/articles/epjn/abs/2023/01/epjn220043/epjn220043.html>

Veröffentlichung ATW:

L. Coquard, A. Havenith „Zerstörungsfreie Plausibilitätsprüfung der stofflichen Beschreibung radioaktiver Abfälle mittels QUANTOM“, atw, International Journal for Nuclear Power, Ausgabe 1, 2023

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

Presse Mitteilung Framatome:

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

Presse Mitteilung GRS:

<https://www.grs.de/de/aktuelles/grs-projekttraeger-europaeische-kommission-zeichnet-zwei-forka-projekte-aus>

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: 01.07.2022 bis 31.12.2022	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 30.06.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.464.591,28 € (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 der Hard- und Software, Testaufnahmen mit kalibriertem, optischem System, Test der automatischen Prozessierung,

AP8 (Optimierung Demonstrator 1.0): Wiederholung erforderlicher Schritte der AP6 bis AP8 bis zur finalen Reife des Demonstrators 1.0 (M3),

AP9 (Softwareoptimierung): Verbesserung und Weiterentwicklung der Hard- und Software,

AP10 (Praxisphase und Abschlusstest): Testläufe unter realen Bedingungen, erneute Anpassung, Validierung und Verbesserung der Hard- und Software bis zur finalen Reife (M4),

AP11 (Evaluationsphase): Evaluation des gesamten Vorhabens, Ergebnispräsentationen.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse (mit Referenz zu AP8 und AP9)

In der ursprünglichen Projektplanung war vorgesehen, nach der ersten experimentellen Versuchsanlage „Demonstrator 1.0“ und den zugehörigen Untersuchungen zur Inspektionseinheit eine zweite Anlage als „Demonstrator 2.0“ zu entwickeln und zu fertigen. Der Projektfortschritt und die Ergebnisse in den vergangenen Monaten haben gezeigt, dass diese ursprüngliche Planung effektiver und ressourcenschonender ausgeführt werden kann.

Um den „Demonstrator 2.0“ wie ursprünglich geplant zu bauen, müssten alle Hauptkomponenten des ersten Containers inklusive aller Elektroteile demontiert und wieder in einen neuen Container eingebaut werden. Dazu muss auch ein neuer Container gefertigt und entsprechend umgebaut werden. Diese Arbeiten sind sehr zeitintensiv, bergen Gefahren da die nun intakte Anlage komplett demontiert werden muss und führen am Ende nur zu einem geringen Mehrwert. Daher haben wir in Absprache mit dem Projektträger entschieden, die bestehende Anlage Demonstrator 1.0 zu erweitern und zu modifizieren, so dass die neuen Erkenntnisse und Optimierungen direkt in die bestehende Anlage einfließen. Damit können wir Zeit, Kosten und Ressourcen schonen.

Zur Optimierung der Datenaufnahme von Deckel und Boden mittel Laserlichtschnittsensoren wurde die Anlage in dieser Hinsicht durch eine zusätzliche Lineareinheit ergänzt (Abb.1), welche zukünftig beim Verfahren des Sensors parallel zum Fass durchgeführt wird. In Zusammenarbeit mit den technischen Mitarbeitern des KIT- TMB wurde die Konstruktion der Halterung zur Befestigung des neuen Lineareinheit gefertigt und dazu die gesamte Installation der zusätzlichen Elektronik vorbereitet. Sowohl der Laserlichtschnittsensoren für den Deckel als auch der seitlichen Laserlichtschnittsensoren erhalten eine neue Position.

Ein neuer Inspektionsablaufplan wurde definiert und diese wird in die SPS Steuerung aufgenommen. Aktuell befindet sich der Demonstrator in den letzten Zügen der Montage und die dafür erforderlichen neuen Komponenten wurde bestellt.

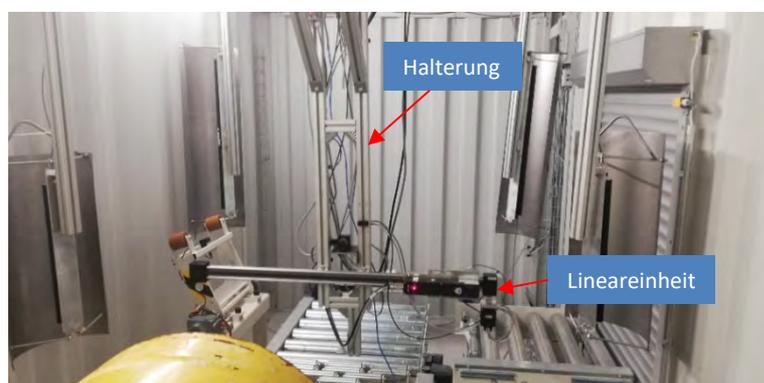


Abb. 1 – Transversal Lineareinheit zur Fassinspektion und Haltvorrichtung für optischen Erfassungssysteme

In Rahmen des AP9 wurden Tests des Verfahrens aus dem Maschinellen Lernen durchgeführt. Dies betrifft einerseits die Detektion von Korrosion mittels Convolutional Neural Networks. Die Ergebnisse sind aufgrund zu weniger Trainingsdaten nicht ideal, können jedoch u. U. unterstützend hinzugezogen werden. Weitere klassische, pixelbasierte Lernverfahren wurden ebenfalls evaluiert mit höherer Detektionsgüte. Zur 3D-Rekonstruktion wurden Neural Radiance Fields getestet, welche einen vielversprechenden Ansatz zur Deformationserkennung auf rein bildbasierten Daten darstellen.

Mittels klassischer Bildverarbeitungsverfahren wurde ein Workflow implementiert, welcher die wesentliche Korrosionsdetektion im Software-Prototyp übernimmt.

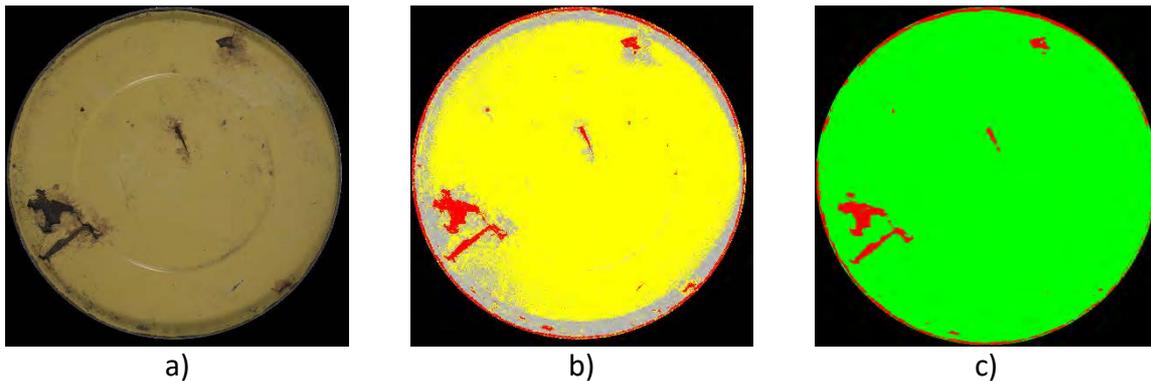


Abb. 2: a) Fassboden. b) Machine-Learning-basierte Korrosionsdetektion, überklassifiziert in 4 Oberflächenklassen. c) Aggregiertes Klassifikationsergebnis mit Korrosion (rot) und nicht betroffenen Stellen (grün).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten AP10 und AP11)

- Deformationserkennung auf Basis der Lichtschnittsensoren
- Exzentrizitätsausgleichung bzgl. Mantelaufnahme
- Automatisierte Bestimmung eines Fassreferenzpunktes an jedem Fasselement (soweit möglich)
- Kalibrierung der RGB-Kameras
- Implementierung einer grafischeren Nutzeroberfläche

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- **ICOND 12. INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUCLEAR DECOMMISSIONING** vom 14. bis 17. November 2022 in Aachen, Vortrag zu „EMOS – Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebände“
- **Zukunft der Atomenergie Doku HD ARTE - Deutsch-französischer Kultursender**, Online: <https://www.youtube.com/watch?v=WWN8EiPRR9Q>
- **Haitz, D. et al., 2022**: Semantic Segmentation with small Training Datasets: A case study for corrosion detection on the surface of industrial objects. (<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000154095>)

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9422A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Framatome GmbH (Framatome)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Vlrtual REmote RObotics for Radiometric Sorting (VIRERO) Teilvorhaben: 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: 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 (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Es wurde ein Workshop mit allen Partner über die Zusammenführung der beiden Versuchsstände durchgeführt. Diese Integration der beiden Versuchsstände der Partner AiNT und FAPS ist angedacht um Meilenstein E im ersten Halbjahr 2023 zu erreichen, für finale Tests an der Gesamtversuchsanlage, gemäß AP1c). Die beschlossene Strategie beinhaltet den Versuchsstand zur radiologischen Charakterisierung so lange wie möglich beim Partner AiNT zu belassen. Für die Zusammenführung beider Versuchsstände wurde alternativ ein geeigneter „Mock-Up“ und eine Lösung für die Integration dieses alternativen Messtisches zur radiologischen Charakterisierung an der Sortier- und Handhabungsversuchsanlage (am FAPS) definiert. Im Ergebnis kann also der von AiNT entwickelte Messtisch zur weiteren Entwicklung in Aachen verbleiben. Mit dieser alternativen „Mock-up“ Lösung ist es möglich beide Versuchsstände in den Standorten mit der entsprechenden Expertise weiterzuentwickeln, ohne auf die Möglichkeit und dadurch zu gewinnenden Erkenntnisse einer Zusammenführung verzichten zu müssen. Mit den notwendigen Maßnahmen konnte am FAPS bereits im Berichtszeitraum begonnen werden.

Seitens Framatome und FAPS wurde mit der Planung radiologischer Tests begonnen, welche zur Unterstützung der in AP1c) geplanten Dauertests im Rahmen einer möglichen Vorauswahl auf radiologisch geeignete Komponenten dienen sollen. Diese Tests sind notwendig, um Aussagen über das radiologische Einsatzgebiet von VIRERO vorab treffen zu können. Außerdem dienen sie zur Identifizierung sensibler und prozesstechnisch relevanter Hardwarekomponenten, wie Kameras und evtl. Laserscanner. Bei den Robotern wird aus Kostengründen vorerst keine Bestrahlung durchgeführt, es gibt hierzu allgemeine Ergebnisse Dritter. Seitens FAPS wurde eine Stereokamera für die radiologischen Tests erworben. Diesbezüglich sind erste Tests bei Framatome für Q1/2023 geplant. Insbesondere, weil im Projekt die, mit diesem Kameratyp gekoppelten Stereoskopie-Verfahren, für AP2) als sehr zielführend angesehen werden.

Auch als Vorbereitung für die Tests am Gesamtsystem im Rahmen von AP1c) wurde gemeinsam mit den Partnern eine einheitliche Softwareumgebung abgestimmt und größtenteils

implementiert (FAPS und Framatome). Dazu gehörten im Detail, eine Re-Implementierung, Anpassung bzw. Weiterentwicklung der bereits entwickelten Softwarepakete. Abschließende Tests um die einheitliche Softwareumgebung zu validieren wurden soweit möglich durchgeführt, mussten aber zum Teil wegen Umbaumaßnahmen am FAPS und insbesondere wegen des Umzugs seitens Framatome von Erlangen nach Eltersdorf verschoben werden. Der Umzug betrifft den Framatome-Versuchstand und die Framatome-Büros.

Bei den erwähnten Umbaumaßnahmen am FAPS handelten es sich um geplante Restrukturierungsmaßnahmen, welche als Vorbereitung auf AP1c) hin zu einer funktionierenden Gesamtanlage, über die Implementierung des erwähnten „Mock-Up's“ hinaus betrachtet werden sollten. Der Umzug seitens Framatome hat keine projekttechnischen Gründe, sondern war aus firmeninternen Gründen notwendig.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Als Vorbereitung auf AP1c) ist der Abschluss der Softwareänderungen aufgrund der Anpassung der Softwarestände in Form von Validierungstests geplant. Ergänzend zu AP2, als gesamtes Arbeitspaket, ist die finale Integration und Testung der linearen Achse (mit beweglicher Kamera) am FAPS Versuchsstand geplant bzw. die alternative Nutzung des Stäubli-Roboters vorgesehen. Beide Lösungen dienen zur Optimierung der Blickrichtung einer OperatorIn innerhalb der VR-Umgebung.

Auch als Vorbereitung für AP1c) dienen die erwähnten, bereits geplanten, radiologischen Tests, um die aktuellen Komponenten hinsichtlich ihrer Tauglichkeit im radiologischen Umfeld zu bewerten. Erste Tests sind bei Framatome für Q1/2023 geplant.

Aufgrund des Umzugs seitens Framatome und der Umbaumaßnahmen der Versuchsanlage des FAPS werden weitere noch ausstehende Tests gemäß AP1b) durchgeführt bzw. fortgeführt. Dazu gehören Tests zur Kollisionserkennung gemäß den erreichten Entwicklungen in AP2b) bzgl. Meilenstein C, Tests bzgl. der beiden auf Stereoskopie basierenden Verfahren zur Darstellung der VR gemäß AP2a) bzgl. Meilenstein B und Tests zur Datenfusion in Bezug auf Meilenstein D.

Außerdem ist ein nächstes Projekttreffen bereits im Februar geplant, um die erreichten Ergebnisse zu bewerten und das weitere Vorgehen mit allen Projektpartner in Präsenz genauer abzustimmen.

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 Veranstaltung zu ROBDEKON, soweit sie stattfinden, teilnehmen und die Publikationen seitens ROBDEKON beachten.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9422B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Vlrtual REmote RObotics for Radiometric Sorting (VIRERO) Teilvorhaben: 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“.

In Q3/2022 wurde ein Aufstockungsantrag zu VIRERO, „VIRERO-Kompakt“, bewilligt. Hierdurch wurde das Arbeitsprogramm um das AP6 „Aus- und Fortbildungsprogramm KOMPAKT“ erweitert.

Im Rahmen des Projekts ist AiNT für AP3 der Vorhabensbeschreibung „Radiologische Charakterisierung“ allein verantwortlich. 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, wozu auch die Entwicklung der orts aufgelöste Aktivitätsrekonstruktion gehört.

Zusätzlich ist die AiNT in Arbeitspaket AP4b) „Datenfusion und Zwilling“ gemeinsam mit dem FAPS eingebunden. In AP6 ist AiNT verantwortlich für die Koordinierung des Partnerverbands für das Aus- und Fortbildungsprogramm, die Durchführung von Fortbildungen, die Vermittlung von Trainees an Verbundpartner in Praktika und die Evaluation der Aus- und Fortbildungsmaßnahmen.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP3b) Kalibrierung & Testbetrieb

Für eine verbesserte Aufnahme durch den 3D Laserscanner wurden die auf dem Boden des Sortiertisches befindlichen schwarzen Gummimatten entfernt und der Sortiertisch mit einer mattschwarzen selbsthaftende Kunststoffolie foliert. Der Grund dafür lag in einer erkennbaren Welligkeit der 3D Laserscans bei der Messung des leeren mit Gummimatten ausgekleideten Sortiertisches. Gleichzeitig wurde die Messanlage in der Höhe nivelliert, sodass die Nullebene des Messtisches parallel zu x- und y-Richtung des 3D Laserscanners liegt. Mit den drei energieauflösenden Gammadetektoren wurden Testmessungen mit einer quaderförmigen Volumenquelle und mit zwei Punktquellen vorgenommen. Hierbei wurde, wie in vorigen Messungen, der Überlappungsgrad der Kollimationsbereiche variiert. Die gemessenen Gammaskpektren wurden ausgewertet und stehen als Eingangsdaten für die Softwareentwicklung der Aktivitätsrekonstruktion zur Verfügung.

AP3c) Softwareentwicklung

Die Datenbank für die Verwaltung der Mess- und Auswertedaten wurde an die Steuerungssoftware gekoppelt. Für eine größtmögliche Automatisierung der Auswertung der aufgenommenen Gammaskpektren wurde in Q2 eine aus der Steuerungssoftware ansteuerbare Softwareschnittstelle implementiert. Diese ermöglicht die Gammaskpektren ohne Nutzerinteraktion automatisiert auszuwerten. Die nachgeschaltete Kontrolle und ggf. Bearbeitung der Spektrenauswertung durch einen Expertennutzer ist weiterhin möglich.

Die Arbeiten an der Software zur Entwicklung des Aktivitätsrekonstruktionsverfahrens wurden fortgeführt.

Die Erstellung vereinfachter Modelle zur Berechnung von Photopeakeffizienzen aus den aufgenommenen Höhenprofilen des 3D-Laserscanners wurde in die Steuerungssoftware integriert.

AP6) Aus- und Fortbildungsprogramm Kompakt

Im Berichtszeitraum erfolgte die Konzeptionierung des Aus- und Fortbildungsprogramms. Hierbei wurden Programme für Webinare und die Summer School BEAST/KOMPAKT gestaltet und qualitätsgesichert. Bereits durchgeführt wurden ein Webinar und eine Summerschool. Für mögliche Praktika sind Vorgespräche mit den Verbundpartnern geführt worden. Bisher wurden noch keine Praktika durchgeführt. Die Trainees nahmen im November 2022 an der ICOND teil. Das Feedback der Teilnehmer war sehr positiv.

4. Geplante Weiterarbeit

AP3b) Kalibrierung & Testbetrieb

Beginnend mit dem HPGe-Detektor werden gammaspektrometrisch Messungen von ausgedehnten Objekten, welche zunächst eine radioaktive Punktquelle und später Volumenquellen verdecken, durchgeführt. Jeder Messaufbau wird mit unterschiedlichen Überlappungen des jeweiligen Kollimationsbereiches wiederholt. Diese Messungen werden anschließend mit den beiden Szintillationsdetektoren wiederholt, um sich an die reale Messsituation anzunähern. Neben den gammaspektrometrischen Messungen werden ebenso Höhenprofile der Messanordnungen aufgezeichnet. Die so gewonnenen Eingangsdaten dienen der Weiterentwicklung der Software für die Aktivitätsrekonstruktion. Das Zusammenspiel zwischen Steuerungssoftware, Spektrenauswertung, Erstellung der vereinfachten 3D Modelle für Photopeakeffizienzen und der Datenbank wird erprobt.

AP3c) Softwareentwicklung

Das Aktivitätsbestimmungsverfahren basierend auf einer örtlichen Aktivitätsrekonstruktion wird weiterentwickelt. Nach Tests der Aktivitätsrekonstruktion mit den Daten aus den Messkampagnen mit dem HPGe-Detektor im Testbetrieb, wird das Softwaremodul zur Berechnung der Photopeakeffizienzen um Eingangsdaten für die beiden Szintillationsdetektoren erweitert. Die Aktivitätsrekonstruktion wird nach erfolgreicher Erprobung an die Steuerungssoftware angebunden. Für die Aktivitätsrekonstruktion benötigte Eingangsdaten werden dann von der Steuerungssoftware aus der Datenbank bereitgestellt. Ebenso übernimmt die Steuerungssoftware das Einpflegen der Ergebnisse der Aktivitätsrekonstruktion in die Datenbank. In der Steuerungssoftware wird die Erstellung eines automatisierten Berichts über die rekonstruierten Aktivitäten implementiert.

AP4b) Datenfusion und Zwilling

Die 3D-Laserscans aus der nächsten geplanten Versuchsreihe werden zusammen mit einem Satz typischer Reststoffe an das FAPS übergeben.

AP6) Aus- und Fortbildungsprogramm Kompakt

Durchführung von Webinaren und der Summer School für das Programm im Jahr 2023.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen weiterer F&E-Projekte, wie beispielsweise dem FORKA-Projekt QUANTOM® (Förderkennzeichen: 15S9406B) 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

Keine im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9422C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Vlrtual REmote ROBotics for Radiometrie Sorting (VIRERO) Teilvorhaben: 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 (mit Referenz zu Arbeitsprogrammepunkten)

Bei Arbeiten zum AP1 (b) wurde weiter an der aktiven Schwingungsdämpfung für die Aufnahme von Schneidteilen gearbeitet. Ziel ist die Entwicklung eines Systems, um zum einen Prozesskräfte bei Schneidvorgängen nicht in die Roboterkinematiken der Versuchsanlage einzukoppeln und gleichzeitig ein langes Nachschwingen von federnd gelagerten Schneidteilen zu vermeiden. Nach der Konzeptentwicklung wurde nun ein Testelement zum Halten von Schneidteilen in die Anlage integriert, dessen Dämpfungseigenschaften aktiv gesteuert werden können. Versuche zum Schneiden von Teilen zeigen hier weiter, dass die Positionierung der integrierten, robotergeführten Trennschere innerhalb der lokalen Schutzeinhausung eine Herausforderung darstellt. Um beim Schneiden abgeschleuderte Teile in einem kleinen lokalen Bereich aufzufangen, sollte die lokale Schutzeinhausung möglichst klein gehalten werden. Dies erschwert allerdings die Positionierung der Schere mit einem Sechssachsroboter innerhalb der Schutzeinhausung. Daher werden jetzt alternative Konzepte für eine Linearkinematik zur Führung der Schere entwickelt. Diese Kinematik soll entweder über einen, drei oder vier Freiheitsgrade verfügen. Ziel der Konzeptentwicklung ist eine simulative Erreichbarkeitsuntersuchung von Schneidpositionen in der lokalen Schneideinhausung.

Zur intuitiven Ansteuerung von kontinuierlich einstellbaren Endeffektoren wie der Schere oder Greifern wurde weiter an einem Datenhandschuh und der Integration des Systems in die Steuerungsarchitektur gearbeitet. Der Handschuh kann jetzt für verschiedene Nutzende kalibriert werden, um anschließend die über Biegungssensoren erfasste Handbewegungen auf Greifer oder Scherenpositionen abzubilden.

Im Rahmen der Arbeiten zu AP4 (b) wurde ein Workshop zum weiteren Vorgehen bei der Integration der radiologischen Charakterisierung und der Versuchsanlage zum robotergestützten Sortieren mit allen Projektpartnern durchgeführt. Im Arbeitsprogramm ist ursprünglich vorgesehen, die entwickelte Anlage zur radiologischen Charakterisierung in Erlangen angeschlossen an den dortigen Versuchsstand aufzubauen. Allerdings existiert am Standort des LS FAPS kein Kontrollbereich. Entsprechend könnten bei diesem Vorgehen keine weiteren Versuche zur radiologischen Charakterisierung mit aktiviertem Material durchgeführt werden. Alle Partner des Konsortiums haben sich daher dafür ausgesprochen, die aufgebaute Charakterisierungsanlage funktionsfähig im Kontrollbereich beim Partner AiNT zu belassen. In Erlangen soll nun ein MockUp der Charakterisierungsstation an die Versuchsanlage angedockt werden. Dies hat den weiteren Vorteil, dass frei werdende Ressourcen durch die wegfallende Wiederinbetriebnahme für die Entwicklung eines Konzeptes zum Materialtransport zwischen dem Sortierbereich und der Charakterisierungsstation genutzt werden können. Es wurde infolge ein Konzept entwickelt, um einen Abschnitt des Sortiertisches in der Anlage permanent auf zwei Förderbänder zu setzen. Das Konzept sieht vor, die Einhausung der Anlage auf einer Seite zu verlängern, um den Sortiertisch dort unter ein MockUp der Charakterisierungsstation zu fahren.

Die Position des Sortiertisches wird dabei mit einem Lasersensor erfasst und kann somit auch zur Rekonstruktion von Oberflächenmodellen bei der Erfassung mit einem Linienlaser Sensor genutzt werden. Alle Antriebskomponenten der Bewegungseinheit werden für eine spätere gute Wartbarkeit außerhalb der Schutzeinhausung platziert.

In AP5 (a, b und c) wurde weiter an der Verbesserung der Mensch-Maschine-Schnittstelle gearbeitet. Hierzu wurde die Möglichkeit geschaffen, aus der VR-Umgebung die Robotersysteme mit einem Befehl kollisionsfrei in bestimmte eindeutige Gelenkstellungen zu verfahren. Auf der Basis dieser Funktionalität können Nutzende die verbauten Robotersysteme zum Beispiel in bestimmte Startpositionen für die Teleoperation verfahren. Weiterhin lassen sich so Unterstützungsfunktionen realisieren, um beispielsweise autonom über eine Abwurfposition über einem Fass zu fahren. Für das Auslösen von solchen Bewegungen wurden zwei unterschiedliche Ansätze in der VR-Umgebung implementiert. Für erfahrene Nutzende besteht die Möglichkeit, bekannte Posen aus einer VR-Menüstruktur anzufahren. Für unerfahrene Nutzende könnten die Posen im Raum eingeblendet werden. Somit können von neuen Nutzenden auch Posen angefahren werden, deren Stellungen im Raum eventuell nicht direkt aus textuellen IDs oder Beschreibungen ableitbar sind.

Parallel wurde eine auf ROS noetic basierende Arbeitsumgebung aufgesetzt, um aktuelle ROS Pakete zum Beispiel zur Greifposesbestimmung, die Python in der Version 3 nutzen, mit geringerem Aufwand in die Gesamtarchitektur zu integrieren. Alle Pakete zum Betrieb der Versuchsanlage wurden bei Bedarf an die neue ROS Version angepasst und getestet. Weiterhin wurde das auf dem Generative Grasp Convolutional Neural Network (GGCNN) Ansatz basierende Greifen weiterentwickelt und zum Aufbau von zwei Demonstrationsanwendungen genutzt. Für eine teilautonome Nutzung der Anlage wurden zunächst statt einem Greifpunkt eine definierbare Anzahl von möglichen Greifpunkten mit einer geringen Schwankung ihrer jeweiligen Mittelpunkte mittels GGCCNN ermittelt. Diese möglichen Greifpunkte können nun für Nutzende in der VR Umgebung eingeblendet werden. Anschließend kann von den Nutzenden eine autonome Fahrt über einen der zur Auswahl stehenden Greifpunkte angestoßen werden. Von dort aus kann dann ein manueller Greifvorgang durchgeführt werden. Weiterhin kann nun das vollautonome Greifen aus der VR Umgebung überwacht und gesteuert werden. Dazu wird der Greifvorgang in mehrere Abschnitte unterteilt. Zunächst bestimmt das System wieder auf Basis von GGCCNN einen Greifpunkt und fährt den Roboter anschließend über die entsprechende Position. Nutzende können in der VR Umgebung einen möglichen nachfolgenden Greifvorgang aus dieser Position einschätzen und gegebenenfalls einen nachfolgenden autonomen Greifvorgang auslösen. Dieser wird dann durchgeführt und der Erfolg oder Misserfolg des Greifvorgangs durch eine automatische Auswertung der Greiferstellung ermittelt. Bei einem erfolgreichen Griff fährt der Roboter autonom über eine Abwurfposition über einem Fass und wirft den gegriffenen Gegenstand ab. Anschließend beginnt der Ablauf erneut, solange bis die Applikation beendet wird.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Mit Bezug zu AP1 (b) sowie AP5 (a) Weiterarbeit an der Verbesserung der Bedienung mit Nutzerstudien zu den nun verfügbaren Eingabemoden. In AP4 (b) wird die simulierte Charakterisierungsstation aufgebaut und in die Anlage integriert. In AP5 (c) Nutzung weicher Greifsysteme für neue Ansätze zum autonomen Vereinzeln durch das Verschieben von Teilen. In AP5 (d) werden Versuche zum Imitation- und Reinforcementlearning durchgeführt

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Seit Projektstart haben sich keine Änderungen gegenüber der Antragstellung ergeben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	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 Abfallgebänden 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 >> 10Hz
	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. Personell konnten wir das Team durch einen neuen Mitarbeiter zum 01.November 2022 verstärken. Er hat sich während der ersten Monate seiner Tätigkeit in die themengebiete dieses Forschungsvorhabens eingearbeitet (T1 / D-1), insbesondere mit Blick auf den Bereich der Weiterentwicklung des hochrepetitiven Targets.

Das erstellte Konzept eines auf vielen, einzeln auslesbaren Photomultipliern beruhenden Detektors wurde umgesetzt und der Aufbau im Labor getestet. Die bereits in der ersten Hälfte des Jahres 2022 genommenen Daten an einer konventionellen Neutronenquelle (D-7) wurde ausgewertet, wobei sich gezeigt hat, dass diese Messung wiederholt werden sollte um bei verlängerter Messdauer das Signal- zu Rauschverhältnis zu verbessern. Ebenfalls hatten unter anderem diese Messungen Verbesserungspotential bei der elektronischen Erfassung und Verarbeitung der Rohdaten aufgezeigt. Die Beschaffung geeigneter Ausleselektronik wurde beantragt und von Seiten des Projektträgers genehmigt. Diese ist bestellt und zum Teil bereits geliefert und wird gegenwärtig implementiert und getestet.

Im Teilprojekt 1 konzentrierten sich die Arbeiten in der zweiten Hälfte des Jahres 2022 darauf die Zuverlässigkeit des sog. „Liquid Leaf“ zu verbessern. Im Targetlabor des Institut für Kernphysik wurde ein Prozess zur reproduzierbaren Herstellung und hinreichend genauen Vermessung von Glas-Kapillaren eingeführt, der es uns jetzt erlaubt die Düsen mit den gewünschten Durchmessern selbst herzustellen. Die experimentellen Ergebnisse der Laser-Strahlzeit an der VEGA Facility in Spanien aus dem Jahr 2021 sowie der aktuelle technische Stand des hochrepetitiven Targets (Liquid Leaf Target) wurden auf dem Target Fabrication Workshop in Oxford (UK) im September 2022 präsentiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Für die weiterführende experimentelle Umsetzung der Teilprojekte N und D wurde ein Antrag auf Experiment-Zeit am Hochenergie-Lasersystem Phelix gestellt und von Seiten des Gutachterausschusses positiv beschieden. Diese Strahlzeit ist aktuell für März 2023 geplant und wird mit personeller Unterstützung von Seiten der universitären Arbeitsgruppe durchgeführt werden. Dieses Experiment bietet dann direkt die Möglichkeit die neue Auswerte-Elektronik und den faserbasierten Detektor zu testen.

Weiterhin ist aktuell ein Aufenthalt am Los Alamos National Laboratory geplant um dort an der LANS Neutronen-Facility zu testen.

Mit Blick auf einen Test des Liquid-Leaf Targets an einem hinreichend starken Laser der bei höherer Repetitionsrate - z.B. bei 1Hz - arbeitet, sind wir mit dem Helmholtz-Institut Jena im Gespräch und arbeiten an der Planung einer Experiment-Kampagne für Herbst 2023.

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. Dieses LOEWE Programm wird jedoch Ende September 2023 Auslaufen.

Ebenso steht dieses Vorhaben in Bezug zu dem vom BMBF geförderten Projekt 05P19RDF A1 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 energieselektiv messen kann. Dieser Detektor wird aktuell mit Eigenmitteln unserer Arbeitsgruppe weiter entwickelt. 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. Das Liquid-Leaf soll zusammen mit diesem Detektor bei einer Repetitionsrate von 1Hz am Polaris Laser in Jena gegen Ende 2023 zum Einsatz kommen.

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.* (2022)

Berichtszeitraum: 01.10.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9436A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: AFRY Deutschland GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilvorhaben A: Koordination und Erstellung der BIM Modelle	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2022 bis 30.09.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 75936,73 €
Projektleiter/-in: Dr. Andreas Bauer	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: andreas.bauer@afry.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Durch die zu entwickelnde optimierte Schnitt- und Verpackungsplanung können Abfallcontainer optimiert und die Planung des Rückbaus verbessert werden. Ziel ist hier die Kostenreduktion durch Containerreduktion. Des Weiteren bietet DABKO eine modellbasierte Rückbauplanung und Visualisierung bzw. Simulation. Diese tragen zu einer verbesserten Koordination und Kommunikation aller Prozessbeteiligten bei.

DABKO schafft durch die enge Zusammenarbeit der TU Darmstadt, der TÜV SÜD ET und AFRY die Möglichkeit für Studierende des Bauingenieurwesens und der Physik, sich mit dem Rückbau im Rahmen von interessanten und innovativen Arbeiten zu befassen. DABKO trägt so zum Kompetenzerhalt und der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses für den Rückbau kerntechnischer Anlagen bei.

Die Zusammenarbeit von TÜV SÜD ET, AFRY und der TU Darmstadt hat zum Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit von deutschen Unternehmen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen im internationalen Umfeld auszubauen. Es wird ein Demonstrator hergestellt.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Arbeitspaket 1: Koordination des Gesamtvorhabens

Mehrere Treffen zur Koordination, der Abgrenzung der Arbeitsfelder und gegenseitige Schulungen zum gemeinsamen Verständnis der Problematik haben stattgefunden.

Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells

Es liegen für die Arbeiten die Modelle aktivierter Betonstrukturen aus zwei Kernkraftwerken in verschiedenen Formaten vor. Die Daten wurden den Projektteilnehmern zur Verfügung gestellt. Die verwendeten Attribute wurden in Abstimmung zwischen allen Projektpartnern festgelegt (AP 2.3).

Arbeitspaket 3: Automatisierte Abschirmungsberechnung

Die Daten der Konrad-Container und anderer Behälter wurden in die FLUKA Software (<https://fluka.cern/>) eingepflegt und erste Rechnungen wurden durchgeführt.

Arbeitspaket 4: Optimierung der Verpackungsplanung

Bisher sind keine Arbeiten erfolgt.

Arbeitspaket 5: Validierung des Optimierungsverfahrens

Bisher sind keine Arbeiten erfolgt.

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

Erste Abstimmungen der Projektteilnehmer über die technische Realisierung und ein gemeinsames Format der Daten haben stattgefunden. Unsere Vorgehensweise wurde der BGE vorgestellt. Weitere Abstimmungen mit der BGE folgen.

Arbeitspaket 7: Dokumentation

Begleitend zu den jeweiligen Arbeitspaketen findet eine Dokumentation der Ergebnisse statt.

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

Arbeitspaket 1: Koordination des Gesamtvorhabens

Abstimmungsgespräch mit der BGE (Frau Davidian, Herrn Borck) am 01.12.2022, siehe AP 6.

Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells

Festlegung der Attribute der abzubauenen Betonstruktur. Beschaffung fehlender Daten.

Arbeitspaket 3.2: Verifikation der Abschirmungsberechnungen

Modellierung verschiedener Behältergeometrien in FLUKA und Durchführung erster Testrechnungen.

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

Die BGE ist an einer Nutzung/Weiterentwicklung der Datenbanklösung interessiert. Eine schnelle und gute Umsetzung der Datenbank zur Produktkontrolle wird aus Sicht der BGE durch die Beteiligung eines Energie-Versorgungs-Unternehmens (EVU) o.ä. verbessert.

Arbeitspaket 7: Dokumentation

Keine.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Weitere Abarbeitung des Arbeitsprogramms entsprechend des Zeitplans des Projektantrags. In Abstimmung mit der BGE und einem interessierten EVU ist ein früherer Beginn des AP 6.1 (Konzeptionierung der Datenbank) sinnvoll.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine.

Berichtszeitraum: 01.10.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9436B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Darmstadt – Fachbereich Bau- & Umweltingenieurwissenschaften – Institut für Numerische Methoden im Bauwesen	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilvorhaben B: BIM, Game Engine, optimierte Verpackungsplanung und FLUKA Simulation	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2022 bis 30.09.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 624.368,66 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: rueppel@iib.tu-darmstadt.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Durch die zu entwickelnde Schnitt- und Verpackungsplanung können Abfallcontainer optimiert ausgenutzt und die Planung des Rückbaus verbessert werden. Ziel ist hier die Kosteneinsparung durch Containerreduktion. Des Weiteren wird im Rahmen von DABKO eine modellbasierte Rückbauplanung und Visualisierung bzw. Simulation durchgeführt. Diese tragen zu einer verbesserten Koordination und Kommunikation aller Prozessbeteiligten bei. Zur Validierung des Ansatzes wird ein Demonstrator entwickelt.

DABKO schafft durch die enge Zusammenarbeit der TU Darmstadt, der TÜV SÜD ET und AFRY die Möglichkeit für Studierende des Bau- und Umweltingenieurwesens sowie der Physik, sich mit dem Rückbau im Rahmen von interessanten und innovativen Themen zu befassen. DABKO trägt so zum Kompetenzerhalt und der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses für den Rückbau kerntechnischer Anlagen bei.

Die Zusammenarbeit von TÜV SÜD ET, AFRY und der TU Darmstadt hat zum Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit von deutschen Unternehmen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen im internationalen Umfeld auszubauen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Arbeitspaket 1: Koordination des Gesamtvorhabens

Die Projektbeteiligten der Technischen Universität Darmstadt stehen im regelmäßigen Austausch mit den andern Projektbeteiligten. Maßnahmen zur Datenbeschaffung oder das Setzen von Zwischenzielen werden in Absprache mit den betroffenen Projektbeteiligten durchgeführt.

Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells

Für die Erstellung des Modells des Biologischen Schildes liegen Daten in verschiedenen Formaten vor, die entsprechend in ein Modell zu überführen sind. Das Modell muss final mit den Lageinformationen der Aktivierungsberechnung übereinstimmen und diese geometrisch vereinen. Zur Erreichung dieses Ziels wurden mehrere Methoden diskutiert, wie die Modellierung auf Basis der Planungsunterlagen oder die Modellerstellung auf Basis der Lageinformationen der Aktivitätsberechnungen erfolgen soll.

Neben der Modellerstellung gilt es, die Materialinformationen und Informationen der berechneten Aktivität mit dem Modell zu vereinen. Die Materialinformationen und damit im weiteren Sinne auch die Informationen der Bauteildichte werden durch Revit-eigene Funktionen umgesetzt. Die Informationen der berechneten Aktivitäten, die in separaten CSV-Dateien

vorliegen, sollen direkt in die Game Engine Unity importiert werden, sodass diese Informationen bei den durchzuführenden Verschneidungsoperationen berücksichtigt werden können. Da die Modellerstellung auf Basis der Lageinformationen derselben CSV-Datei erfolgt, werden diese Informationen ebenfalls in Dynamo, einem Tool zur parametrischen Modellierung, als Modellierungsgrundlage in Revit verwendet.

Arbeitspaket 3: Automatisierte Abschirmungsberechnung

Es wird eine Schnittstelle erarbeitet, mittels derer alle relevanten Daten realitätsnah aus dem BIM-Modell an FLUKA übergeben werden können. Die FLUKA-Berechnungen werden anschließend experimentell an einem physischen Referenzbehälter verifiziert und in der Folge optimiert. Der sich daraus ergebende Simulationsalgorithmus wird anschließend für die Überprüfung des virtuell gepackten Containers hinsichtlich der Dosisleistung des Containers verwendet.

Arbeitspaket 4: Optimierung der Verpackungsplanung

Unter Berücksichtigung verschiedener Einflussparameter wie der Ladungssicherung, der zulässigen Gesamtmasse und der Dosisleistung, gilt es, die Verschneidung des Biologischen Schildes als auch die Verpackung der Segmente in Container zu simulieren und optimieren. Die Erzeugung der Verschneidungsobjekte soll hierbei in der Game Engine Unity umgesetzt werden. In Unity stehen hierfür mehrere Plug-In Tools zur Umsetzung von booleschen Operationen zur Verfügung. Im Laufe des Projektes soll ein Algorithmus entwickelt werden der den Biologischen Schild automatisiert segmentiert. Ziel des Algorithmus ist die Optimierung hinsichtlich der Minimierung der Containeranzahl. Die Verschneidungsobjekte sollen anschließend, unter Berücksichtigung weiterer Einflussparameter verpackt und anschließend in durch FLUKA interpretierbare Informationen umgewandelt werden. Die optimierte Verpackungsplanung soll zusätzliche durch eine XR-Simulation (Extended Reality) überprüft und nachvollzogen werden können.

Arbeitspaket 5: Validierung des Optimierungsverfahrens

Aufbauend auf der durchgeführten Simulation soll ein Vergleich zwischen der herkömmlichen manuellen Segmentierung und der automatisierten Segmentierung mittels der Game Engine Unity stattfinden.

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

Nachdem die Simulation der Verpackung abgeschlossen wurde, sollen die notwendigen Informationen der Container exportiert und an die Datenbank des TÜV Süd ET übergeben werden. Die hierfür benötigten Informationen des befüllten Containers als auch das Datenformat und die Datenstruktur gilt es festzulegen.

Arbeitspaket 7: Dokumentation

Begleitend zu den jeweiligen Arbeitspaketen findet eine Dokumentation der Ergebnisse statt.

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

Arbeitspaket 1: Koordination des Gesamtvorhabens

Es fanden mehrere Treffen statt, digital als auch in Präsenz. Hierbei wurde u.a. die Koordination des Vorgehens bei der Modellerstellung, die Möglichkeiten zur Zerschneidung des Biologischen Schildes als auch die mögliche Schnittstelle an die FLUKA Software diskutiert. Das erste Präsenztreffen des Projekts fand am 01.12.2022 in den Räumlichkeiten der Firma AFRY in Mannheim zusammen mit dem assoziierten Partner BGE statt.

Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells

Neben der Diskussion des in Kapitel 2, Arbeitspaket 2 beschriebenen Vorgehens zur Modellierung, wurden zudem Anstrengungen unternommen, die notwendigen Daten in Form von berechneten Aktivitäten als auch Konstruktionspläne des Bestandes zu beschaffen. Auf Grund der vorliegenden Daten wurde sich vorläufig auf für eine Erstellung des Modells auf Basis der Lageinformationen der berechneten Aktivitätendichten geeinigt. Hierbei bilden die äußeren Punktinformationen die äußere Umrandung des Biologischen Schildes (vgl. Abbildung 4).

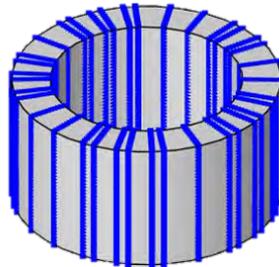


Abbildung 4 Ableitung eines Zylinders auf Basis synthetisch erzeugter Punkt-Lageinformationen

Arbeitspaket 3: Automatisierte Abschirmberechnung

Es wurden die verschiedenen Programmteile, die FLUKA bietet, für eine mögliche Nutzung im Rahmen des Projektes evaluiert.

Arbeitspaket 4: Optimierung der Verpackungsplanung

Bevor mit der Optimierung der Verpackungsplanung begonnen werden kann, müssen zunächst die Funktionen zur Zerschneidung von Objekten in Unity implementiert werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand eignet sich hierfür das Unity-eigene Tool „ProBuilder“. Zu Testzwecken wurden beispielhaft einfache Operationen zur Zerschneidung von Objekten manuell getestet.

Arbeitspaket 5: Validierung des Optimierungsverfahrens

Es hat noch keine Bearbeitung des AP5 stattgefunden.

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

Es hat noch keine Bearbeitung des AP6 stattgefunden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Weitere Bearbeitung des Arbeitsplans entsprechend Zeitplan des Projektantrags. Derzeit sucht die BGE interessierte Entsorgungsunternehmen, um alle beteiligten Akteure frühzeitig im Prozess einzubinden. Je nach Resonanz ist ggf. ein früherer Beginn des AP 6.1 (Konzeptionierung der Datenbank) möglich.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9436C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: TÜV SÜD Energietechnik GmbH Baden-Württemberg	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilvorhaben C: Datenbank	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2022 bis 30.09.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 18.622,45 €
Projektleiter/-in: Dr. Regina Sachse	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: regina.sachse@tuvsud.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Zielsetzung von FORKA ist die Entwicklung, Optimierung und Erprobung anwendungsorientierter Technologien und Verfahren beim Rückbau kerntechnischer Anlagen. Auch der Kompetenzerhalt beim Rückbau spielt bei FORKA eine wichtige Rolle.

Durch die zu entwickelnde optimierte Schnitt- und Verpackungsplanung können Abfallcontainer optimiert und die Planung des Rückbaus verbessert werden. Ziel ist hier die Kostenreduktion durch Containerreduktion. Des Weiteren bietet DABKO eine modellbasierte Rückbauplanung und Visualisierung. Das trägt zu einer verbesserten Koordination und Kommunikation aller Prozessbeteiligten bei.

DABKO schafft durch die enge Zusammenarbeit der TU Darmstadt, der TÜV SÜD ET und AFRY die Möglichkeit für Studierende des Bauingenieurwesens und der Physik, sich mit dem Rückbau im Rahmen von interessanten und innovativen Arbeiten zu befassen. DABKO trägt so zum Kompetenzerhalt und der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses für den Rückbau kerntechnischer Anlagen bei.

Die Zusammenarbeit von TÜV SÜD ET, AFRY und der TU Darmstadt hat zum Ziel, die Wettbewerbsfähigkeit von deutschen Unternehmen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen im internationalen Umfeld auszubauen. Es wird ein Demonstrator hergestellt.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Arbeitspaket 1: Koordination des Gesamtvorhabens

Während der Projektlaufzeit findet ein regelmäßiger Austausch der Projektbeteiligten statt. Im Rahmen regelmäßiger Treffen werden Meilensteine geprüft, diskutiert und die Ergebnisse kritisch durch alle Projektbeteiligten hinterfragt.

Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells

Die für das Endlager vorgesehene, rückzubauende Struktur wird in 3D-Modellen erfasst (AP 2.1), die Aktivierungsdaten und die Bauteildichte werden in das Modell integriert (AP 2.2). Die dabei verwendeten Attribute werden in Abstimmung zwischen allen Projektpartnern festgelegt (AP 2.3).

Arbeitspaket 3: Automatisierte Abschirmungsberechnung

Keine Beteiligung der TÜV SÜD ET an AP3.1 und 3.3.

AP 3.2: Experimentelle quantitative Verifikation an einem Referenzcontainer sowie Parallelisierung und Beschleunigung der FLUKA-Berechnungen.

Arbeitspaket 4: Optimierung der Verpackungsplanung

Keine Beteiligung der TÜV SÜD ET an AP4.1 bis 4.5.

Arbeitspaket 5: Validierung des Optimierungsverfahrens

Keine Beteiligung der TÜV SÜD ET an AP5.1 und 5.2.

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

Die endlagerrelevanten Daten der beladenen KC werden aus dem BIM-Modell in eine speziell zu entwickelnde Datenbank exportiert. Basierend auf den Interessen der BGE soll die Datenbank alle gesetzlich erforderlichen Informationen enthalten. Dazu gehören der Inhalt der KC (Dosisleistung, Wassergehalt, etc.) und zusätzlich der Stand von Prüf- sowie Freigabeschritten zur Zwischen- und Endlagerung. Zusätzlich sollen ergänzende Informationen wie z.B. Bilddokumentationen erfasst werden können und eine eindeutige Zuordnung jedes physischen Containers zur Datenbank z.B. mittels QR-Codes oder NFC-Chips ermöglicht werden. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht ermittelte Werte, z.B. stoffliche Randbedingungen nach Wasserhaushaltsgesetz, werden in der Datenbank mit sinnvollen Werten belegt.

Ein externer Zugriff (ggf. durch App) auf die Datenbank zur Abfrage bestimmter Daten sowie die Änderung und Ergänzung bestimmter Daten soll ermöglicht werden. Die Entwicklung einer Schnittstelle zur digitalen Übergabe von Daten an die BGE ist vorgesehen.

In Abstimmung mit der BGE wird untersucht, inwieweit mit dem digitalen Tool DABKO der zeitliche Ablauf des Rückbaus inkl. Angabe der stofflichen und radiologischen Inhalte der KCs prognostiziert werden kann.

Arbeitspaket 7: Dokumentation

Begleitend zu den jeweiligen Arbeitspaketen findet eine Dokumentation der Ergebnisse statt.

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

Arbeitspaket 1: Koordination des Gesamtvorhabens

Abstimmungsgespräch mit der BGE (Frau Davidian, Herrn Borck) am 01.12.2022, siehe AP 6.

Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells

Beratung der Projektbeteiligten durch TÜV SÜD ET bzgl. Bewehrung.

Arbeitspaket 3.2: Verifikation der Abschirmungsberechnungen

Hinweis an AFRY zu möglicher Quelle von Dosisleistungsdaten zur Validierung der Simulationsrechnung.

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

Die BGE ist an einer Nutzung/Weiterentwicklung der Datenbanklösung interessiert. Eine schnelle und gute Umsetzung der Datenbank zur Produktkontrolle wird aus Sicht der BGE durch die Beteiligung eines Kernkraftwerksbetreibers o.ä. verbessert. Die BGE ist bestrebt, ein interessiertes Unternehmen zu finden.

Arbeitspaket 7: Dokumentation

Keine.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Weitere Abarbeitung des Arbeitsprogramm entsprechend Zeitplan des Projektantrags.

Je nach dem Erfolg der BGE, ein interessiertes Unternehmen zu finden, ist ggf. ein früherer Beginn des AP 6.1 (Konzeptionierung der Datenbank) sinnvoll.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	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 wurden fortgesetzt und weitere Proben zur Bearbeitung vorbereitet. Der Besuch europäischer Vergleichsstandorte war wegen fehlender langfristiger Planbarkeit nicht möglich und wird durch Auswertung veröffentlichter Daten ersetzt.

(AP 2) Die Analyse des nachgewachsenen Baumbestands nach der Ernte im Dezember 2021 wurde im September 2022 durchgeführt. Auch weitere Fluoreszenzmessungen erfolgten.

(AP 3) Die Reinkulturen von *Frankia* wurden charakterisiert. 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. Hierbei konnte der Effekt eines Regenevents im September 2022 analysiert werden. Weiterhin wurde die Elementverteilung in Baumscheiben ausgewählter Erlen von der Ernte 2019 mittels LA-ICP-MS Linienscans untersucht.

(AP 5) Die Korrelationen von Baumart, Mykorrhizapilz und Bodenmikrobiom konnten mit neuen Analysen vom September 2022 fortgeführt werden. Hier zeigte sich nach dem Neuaustrieb in der Tat eine weitere Angleichung des Wuchses und der Bodenmikrobiologie.

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

4. Geplante Weiterarbeit

Die Arbeiten sollen in der Zeit der kostenneutralen Projektverlängerung weitergeführt und Publikationen abschließend vorbereitet werden.

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

Harpke M, Pietschmann S, Ueberschaar N, Krüger T, Kniemeyer O, Brakhage AA, Nietzsche S, Kothe E. 2022. Salt and metal tolerance involves formation of guttation droplets in species of the *Aspergillus versicolor* complex. *Genes* 13, 1631.

Kothe E. 2022. Special Focus: Ecological services of Gram-positives. *J Basic Microbiol.* 62, 763.

Kinkel T. 2022. Tritrophic interaction between *Serpula lacrymans*, *Schizophyllum commune* and *Bacillus subtilis*. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Mirgorodsky D, Nettemann S, Riefenstahl M, Pietschmann D, Fürst D, Lenk K, Ziethe J, Kothe E, Schäfer T. 2022. Estimation of biomass productivity using microdrone laser scanning in a Bioremediation experiment at field scale. 20th Symposium on Remediation. September 29-30, 2022, Jena (Germany).

Nettemann S, Schönfeld L, Mirgorodsky D, Kothe E, Schäfer T. 2022. A multi-method approach to quantify and characterize the natural colloidal inventory of AMD-influenced waters. 20th Symposium on Remediation. September 29-30, 2022, Jena (Germany).

Schönfeld L. 2022. Anwendung von SYBR Green I zur Differenzierung von anorganischen Nanopartikeln und Biokolloiden in der Fluoreszenz-Nanopartikel-Tracking-Analyse (Fluo-NTA). Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Berichtszeitraum: 01.11.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9437A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Friedrich-Schiller-Universität Jena (FSU)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse Teilvorhaben A: Einfluss von natürlichen nanopartikulären Phasen auf die Radionuklidverteilung im Wirkungsgefüge Boden-Pflanze	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 31.10.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 498.769,96 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Thorsten Schäfer	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: thorsten.schaefer@uni-jena.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Transportprozesse potenziell freigesetzter langlebiger Radionuklide (RN) aus einem Endlager für radioaktive Abfälle über den Wasserpfad und den Boden bis in Pflanzen und damit in die Nahrungskette des Menschen müssen für die Langzeitprognose eines Endlagersystems bekannt sein und stellen einen integralen Bestandteil der Radioökologie dar. Untersuchungen zu RN-transport, -speziation und -partitionierung im Boden sowie der RN-aufnahme in Pflanzen, als auch Modelle zur Beschreibung dieser Prozesse berücksichtigen bisher kaum den Einfluss von Mikroorganismen und nanopartikulärer Phasen. Pflanzen modifizieren über Wurzelabscheidungen u.a. Mikroorganismengesellschaften sowie RN- Sorptionsmechanismen im wurzelnahen Boden (Rhizosphäre). Mikroorganismen wiederum sind von zentraler Bedeutung für biogeochemische Prozesse der Pedosphäre und damit für die Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit von RN, da sie pH- und Redox-Verhältnisse alterieren, die RN sorbieren oder inkorporieren (biomineralisieren) oder Komplexbildner ausscheiden. Natürliche nanopartikuläre Phasen in der Boden-Porenlösung nehmen ähnlichen Einfluss, wobei die Rolle dieser Phasen in Präsenz von Wurzelexsudaten noch nicht geklärt ist. Weiterhin tragen variable hydraulische Bedingungen in Bodensystemen zur potenziellen Remobilisierung von RN und zu einer Veränderung der Zusammensetzung der Bodenorganismengemeinschaften und der Mobilität nanopartikulärer Phasen bei. Gesamtziel des Verbundprojektes ist die deutliche Vertiefung des mechanistischen Verständnisses von nano- bis mesoskaligen Mobilitätsprozessen von RN in der Pedosphäre und Rhizosphäre sowie von Aufnahmemechanismen in Pflanzen und die Überführung des generierten Prozessverständnisses in makroskalige Biosphärenmodelle.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

TP-A: Remobilisierung und Einfluss natürlicher nanopartikulärer Phasen auf die Verteilung von Radionukliden während des Transportes im Wirkungsgefüge Boden-Pflanze

AP-1: Variation des Wasserstandes in Laborlysimetern

AP-2: Implementierung der Wasserspiegelschwankung in Hydrus 2D/3D und Überführung der Daten in ECOLEGO

AP-3: Vorexperimente zur Bepflanzung sowie Bepflanzung der Lysimeter mit anschließender Untersuchung von Porenwässern

AP-4: Durchführung konsekutiver Umlaufsäulenexperimente

AP-5: Sensitivitätsanalyse des bestehenden Modellierungsansatzes der Laborlysimeter mit neu generierten Daten zu Unterbodensystemen

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Das Projekt startete im Berichtszeitraum zum 01.11.2022. Die Modellierungssoftware Hydrus 2D/3D wurde entsprechend der anberaumten Investitionsmittel beschafft. Das Bewerbungsverfahren für die zu besetzende Doktorandenstelle wurde vorbereitet. Erste Absprachen der Projektpartner sowie Vorbereitungen für das Kick-off Meeting wurden getroffen. Die im BMBF Verbundprojekt TransLARA (02NUK051C) installierten Laborlysimeter mit Referenzbodensubstraten (RefeSols) wurden vom Ende des Projektes bis zum Beginn des Projektes TRAVARIS weiter mit Grundwasser des Nagra-Felslabor Grimsel (GTS-GW) versorgt. Konstante experimentelle Randbedingungen wurden durch eine Klimakammer gewährleistet, wobei es durch technische Schwierigkeiten und Stromausfälle zu Schwankungen kam, die wiederum dokumentiert worden sind. Das stetige Monitoring der hydrogeochemischen Bedingungen über die *in-situ* Messtechnik mittels Tensiometer, Eh und pH-Elektroden sowie Temperatursonden wurde weitergeführt. Der überbrückte Zeitraum betrifft 14 Monate, in denen unter anderem auch die Anreicherung der Referenzbodensysteme mit AMS detektierbaren Spurenkonzentrationen von Actiniden über das GTS-GW als Vorbereitung der in TRAVARIS geplanten Experimente weiterlief. Mit der Auswertung der über diese Zeit erfassten Daten der *in-situ*-Messtechnik wurde begonnen als Vorbereitung für die in AP1 geplanten Wasserspiegelschwankungen. Konzepte für erste studentische Abschlussarbeiten wurden erstellt, um Nachwuchswissenschaftler*Innen frühzeitig im Projekt einzubinden.

4. Geplante Weiterarbeit

Die Postdoc-Stelle wird zum 01.01.2023 besetzt. Die eingeplante Doktorandenstelle wird ausgeschrieben und der Ausschreibungstext wird mit der Hochschulverwaltung abgestimmt. Das erste Verbundtreffen soll im Frühjahr 2023 in Jena stattfinden. Die Daten der *in-situ* Messtechnik werden final ausgewertet und mit den Partnern LUH-IRS, ÖI und UB-IUP zum Projekttreffen diskutiert, um u.a. das weitere Vorgehen der experimentellen Umsetzung der Wasserspiegelschwankungen (AP1) abzustimmen und modellierungstechnische Fragestellungen zu diskutieren. Die installierten Saugkerzen zur Probenahme werden gewartet und regelmäßige Probenahmen sowie die Analytik zu Kationen, Anionen, DOC und kolloidalen Phasen wiederaufgenommen, um Effekte der induzierten Wasserspiegelschwankungen zu untersuchen. Erste Qualifikationsarbeiten werden durchgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

BMBF Verbundprojekt TransLARA (02NUK051C; abgeschlossen). Untersuchung des Transportverhaltens von RN in der Pedosphäre mit besonderem Fokus auf deren kolloidalen Transport.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine im Berichtszeitraum.

Berichtszeitraum: 01.11.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9437B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover / Institut für Radioökologie und Strahlenschutz (IRS) und Institut für Zellbiologie und Biophysik (IfB)	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse Teilvorhaben B: Remobilisierung von Radionukliden, Charakterisierung mikrobieller Diversität im Boden und die Beeinflussung durch Radionuklide und Wurzelexsudate	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 31.10.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 998.850,94 €
Projektleiterin: Dr. Beate Riebe	E-Mail-Adresse der Projektleiterin: riebe@irs.uni-hannover.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Transportprozesse potenziell freigesetzter langlebiger Radionuklide (RN) aus einem Endlager für radioaktive Abfälle in die Nahrungskette des Menschen müssen für die Langzeitprognose eines Endlagersystems bekannt sein und sind integraler Bestandteil der radioökologischen Berechnungen zur Dosisabschätzung. Untersuchungen dieser Prozesse berücksichtigen bisher kaum den Einfluss von Mikroorganismen. Pflanzen modifizieren über Wurzelausscheidungen u.a. Mikroorganismengesellschaften sowie RN-Sorptionsmechanismen im wurzelnahen Boden (Rhizosphäre). Mikroorganismen wiederum sind von zentraler Bedeutung für biogeochemische Prozesse der Pedosphäre und damit für die Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit von RN. Weiterhin tragen variable hydraulische Bedingungen in Bodensystemen zur potenziellen Remobilisierung von RN und zu einer Veränderung der Zusammensetzung der Bodenorganismengemeinschaften bei. Gesamtziel des Verbundprojektes ist die deutliche Vertiefung des mechanistischen Verständnisses von nano- bis mesoskaligen Mobilitätsprozessen von RN in der Pedosphäre und Rhizosphäre sowie von Aufnahmemechanismen in Pflanzen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

TP-2a: Remobilisierung von RN bei schwankenden Wasserständen und Charakterisierung der mikrobiellen Diversität im Boden und ihre Beeinflussung durch RN und Wurzelexsudate von Pflanzen (LUH-IRS)

AP-1a: Remobilisierung von RN in Lysimetern bei schwankenden Wasserständen (Lysimeter)

AP-2a: Veränderung von Mikroorganismengesellschaften (Rhizosphäre / bulk soil) durch RN

AP-3a: Einfluss von Wurzelexsudaten auf RN-Aufnahme in Pflanzen (Rhizoboxen/ Modellböden)

AP-4a: Einfluss von Pflanzenwurzeln auf RN-Migration (Lysimeter)

TP-2b: Bedeutung pflanzlicher Transporter für die Aufnahme von Radionukliden aus dem Boden in Pflanzen (LUH-IfB)

AP-1b: Klonierung von CRISPR/Cas9 Vektor für die jeweiligen Transporter

AP-2b: Generierung von Knock-out Zellen /Aufnahme von RN in Knock-out Zellen

AP-3b: Generierung/Kultivierung von Knock-out Pflanzen / Aufnahme von RN in Knock-out Pflanzen

AP-4b: Analyse der Produktion von Exsudaten in Knock-out Pflanzen

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

(mit den Arbeiten wurde noch nicht begonnen, da seit Projektbeginn noch kein Personal eingestellt werden konnte)

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP-1a: Einstellung unterschiedlicher Wasserstände in den Lysimetern mit anschließender Entnahme von Porenwasserproben und deren Analyse

AP-2a: Konstruktion, Bau und Inbetriebnahme von Rhizoboxen mit Referenzböden

AP-1b: Erstellung eines theoretischen Klonierungsschemas für das Ausschalten der Transporter PHT1, IRT1, GLR3 und weitere vorbereitende Arbeiten

5. Bezug zu anderen Vorhaben

02NUK051A - Transport- und Transferverhalten langlebiger Radionuklide entlang der kausalen Kette Grundwasser-Boden-Oberfläche-Pflanze unter Berücksichtigung langfristiger klimatischer Veränderungen (Trans-LARA)

Neben Säulenversuchen, sowie Lysimeterversuchen mit in-situ-Messung von pH und Redoxpotential wurde die Aufnahme der Radionuklide ^{125}I , ^{99}Tc , Americium und Plutonium in die Pflanze in Abhängigkeit von deren Speziation und den Bodeneigenschaften bestimmt. Transferfaktoren für die Aufnahme der Nuklide über den Wurzelpfad wurden für vier Nutzpflanzenarten in vier unterschiedlichen Referenzböden aus Deutschland experimentell ermittelt. Für das bessere Verständnis des Transferverhaltens von Iod und Technetium innerhalb der Pflanze wurden Erbsen und Karotten mit orts aufgelösten massenspektrometrischen Methoden (SIMS und rL-SNMS) untersucht und die Radionuklide auf zellulärer Ebene detektiert. Zusätzlich wurde gezeigt, dass pflanzliche Metabolitransporter in der Lage sind, Radionuklide zu transportieren. Als Modellorganismus für die Expression einzelner Ionentransporter dienten die Oozyten des Frosches *Xenopus laevis*.

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.11.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9437C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V., Institut für Ressourcenökologie	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse Teilvorhaben C: Einfluss der Bodenmikrobiologie auf den Radionuklid-Transfer und Verifizierung von Aufnahmemechanismen für Radionuklide in Pflanzen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 31.10.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 493.314,35 €
Projektleiter/-in: Dr. Susanne Sachs	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: s.sachs@hzdr.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Transportprozesse potenziell freigesetzter langlebiger Radionuklide (RN) aus einem Endlager für radioaktive Abfälle über den Wasserpfad und den Boden bis in Pflanzen und damit in die Nahrungskette des Menschen müssen für die Langzeitprognose eines Endlagersystems bekannt sein und sind integraler Bestandteil radioökologischer Berechnungen zur Dosisabschätzung. Untersuchungen zu RN-Transport, -Speziation und -Partitionierung im Boden sowie der RN-Aufnahme in Pflanzen, als auch Modelle zur Beschreibung dieser Prozesse berücksichtigen bisher kaum den Einfluss von Mikroorganismen und nanopartikulärer Phasen. Pflanzen modifizieren über Wurzelausscheidungen u.a. Mikroorganismengesellschaften sowie RN-Sorptionsmechanismen in der Rhizosphäre. Mikroorganismen wiederum sind von zentraler Bedeutung für biogeochemische Prozesse der Pedosphäre und damit für die Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit von RN, da sie pH- und Redox-Verhältnisse alterieren, die RN sorbieren oder inkorporieren (biomineralisieren) oder Komplexbildner ausscheiden. Natürliche nanopartikuläre Phasen in der Boden-Porenlösung nehmen ähnlichen Einfluss, wobei die Rolle dieser Phasen in Präsenz von Wurzelexsudaten noch nicht geklärt ist. Weiterhin tragen variable hydraulische Bedingungen in Bodensystemen zur potenziellen Remobilisierung von RN und zu einer Veränderung der Zusammensetzung der Bodenorganismengemeinschaften und der Mobilität nanopartikulärer Phasen bei. Gesamtziel des Verbundprojektes ist die deutliche Vertiefung des mechanistischen Verständnisses von nano- bis mesoskaligen Mobilitätsprozessen von RN in der Pedosphäre und Rhizosphäre sowie von Aufnahmemechanismen in Pflanzen und die Überführung des generierten Prozessverständnisses in makroskalige Biosphärenmodelle.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

TP-C: Einfluss der Bodenmikrobiologie auf den RN-Transfer und Verifizierung von Aufnahmemechanismen für RN in Pflanzen

AP-1: Bestimmung der mikrobiellen Diversität in einem Referenzboden sowie der Beeinflussung dieser durch RN und Wurzelexsudate.

AP-2: Untersuchung des Abbaus ausgewählter Pflanzenexsudate durch bodenrelevante Mikroorganismen und Charakterisierung der Abbauprodukte.

AP-3: Untersuchung der RN-Speziation in Gegenwart von Pflanzenexsudaten und deren Abbauprodukten sowie Bestimmung fehlender thermodynamischer Daten.

AP-4: Untersuchung des Einflusses von Wurzelexsudaten und deren Abbauprodukten auf den RN-Transport in „künstlichen“ Bodensystemen.

AP-5: Untersuchung der RN-Aufnahme in genetisch modifizierte Pflanzenzellen und Vergleich mit dem Wildtyp.

AP-6: Identifizierung von Pflanzenexsudaten RN exponierter Pflanzen in Hydrokultur/ „künstlichem“ Boden und Bestimmung der RN-Speziation in der Hydrokulturlösung/im Porenwasser.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP-1/2:

- Für die Besetzung der Doktorandenstelle zur Untersuchung der boden- und radionuklidabhängigen Modulation mikrobiologischer Gemeinschaften und von deren Einfluss auf Wurzelexsudate wurde ein Kandidat ausgewählt. Die Einstellung des Doktoranden zum 01.01.2023 wurde vorbereitet.

AP-2/6:

- In Vorbereitung der Untersuchungen zur Identifizierung und Charakterisierung ausgewählter Pflanzenexsudate und deren Abbau durch Mikroorganismen wurden flüssigchromatographische (HPLC) Untersuchungen zur Optimierung der Analysenmethode begonnen.

AP-3/4/5:

- Mit der Auswahl geeigneter Bewerber für die Doktorandenstelle zur Untersuchung der RN-Speziation und des RN-Transfers in Gegenwart von Wurzelexsudaten sowie zur Verifizierung von Aufnahmemechanismen für RN in Pflanzen wurde begonnen. Bewerbungsgespräche wurden für Januar 2023 geplant.

4. Geplante Weiterarbeit

- Besetzung der zweiten Doktorandenstelle

AP-1:

- Literaturrecherche zur Bestimmung der mikrobiellen Diversität in Böden und zur Beeinflussung dieser durch RN und Pflanzenexsudate
- Auswahl eines Referenzbodens in Absprache mit den Projektpartnern
- Etablierung einer Methode zur Bestimmung der mikrobiellen Diversität in einem Referenzboden und Beginn mit deren Bestimmung

AP-2:

- Literaturrecherche zum mikrobiellen Abbau von Pflanzenexsudaten
- Fortsetzung der Optimierung der HPLC-Methode

AP-3:

- Literaturrecherche zur RN-Speziation in Gegenwart von Pflanzenexsudaten und deren Abbauprodukten sowie Identifizierung thermodynamischer Datenlücken
- Erste spektroskopische Untersuchungen zur Bestimmung der Uran(VI)-Speziation in Gegenwart von ausgewählten Pflanzenexsudaten

AP-6:

- Auswahl von zu untersuchenden Nutzpflanzen in Absprache mit den Projektpartnern

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Das Projekt TRAVARIS schließt sich an das vom BMBF-geförderte, abgeschlossene Verbundvorhaben TRANS-LARA an. Die Arbeiten des HZDR (Teilprojekt B, Förderkennzeichen 02NUK051B) konzentrierten sich darin auf die Wechselwirkung von Actiniden mit Pflanzenzellen/Pflanzen, um Aussagen zur Metall-Speziation in Gegenwart von Pflanzen zu treffen, sowie auf Aufnahmemechanismen für RN in Pflanzen auf molekularer und zellulärer Ebene.

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9437D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Öko-Institut e.V.	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse Teilvorhaben D: Radioökologische Modellierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 31.10.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 324.912,58 €
Projektleiter/-in: Veronika Ustohalova	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: v.ustohalova@oeko.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Transportprozesse potenziell freigesetzter langlebiger Radionuklide (RN) aus einem Endlager für radioaktive Abfälle über den Wasserpfad und den Boden bis in Pflanzen und damit in die Nahrungskette des Menschen müssen für die Langzeitprognose eines Endlagersystems bekannt sein und sind integraler Bestandteil radioökologischer Berechnungen zur Dosisabschätzung. Untersuchungen zu RN-transport, -speziation und -partitionierung im Boden sowie der RN-aufnahme in Pflanzen, als auch Modelle zur Beschreibung dieser Prozesse berücksichtigen bisher kaum den Einfluss von Mikroorganismen und nanopartikulärer Phasen. Pflanzen modifizieren über Wurzelausscheidungen u.a. Mikroorganismengesellschaften sowie RN-Sorptionsmechanismen in der Rhizosphäre. Mikroorganismen wiederum sind von zentraler Bedeutung für biogeochemische Prozesse der Pedosphäre und damit für die Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit von RN, da sie pH- und Redox-Verhältnisse alterieren, die RN sorbieren oder inkorporieren (biomineralisieren) oder Komplexbildner ausscheiden. Natürliche nanopartikuläre Phasen in der Boden-Porenlösung nehmen ähnlichen Einfluss, wobei die Rolle dieser Phasen in Präsenz von Wurzelexsudaten noch nicht geklärt ist. Weiterhin tragen variable hydraulische Bedingungen in Bodensystemen zur potenziellen Remobilisierung von RN und zu einer Veränderung der Zusammensetzung der Bodenorganismengemeinschaften und der Mobilität nanopartikulärer Phasen bei. Gesamtziel des Verbundprojektes ist die deutliche Vertiefung des mechanistischen Verständnisses von nano- bis mesoskaligen Mobilitätsprozessen von RN in der Pedosphäre und Rhizosphäre sowie von Aufnahmemechanismen in Pflanzen und die Überführung des generierten Prozessverständnisses in makroskalige Biosphärenmodelle.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP-1: Abstimmung zum Ablauf der Lysimeterexperimente mit schwankenden Wasserständen und zu Umlaufsäulenexperimenten hinsichtlich der Übertragbarkeit der Prozesse und Parameterwerte in den ECOLEGO-Modellteil „Bodentransport“.

AP-2: Prüfung der Übertragbarkeit der Porenraummorphologie und der Hysterese (3D-HYDRUS) in den ECOLEGO-Modellteil „Bodentransport“.

AP-3: Abbildung der Kd-Wert-Variabilität im ECOLEGO-Modellteil „Bodentransport“ unter Einfluss von Mineralphasen, Organik und des pH-Wertes in Anlehnung an das „Smart-Kd-Konzept“.

AP-4: Aufbau des Mehrschichtmodells zum Wasser- und RN-Transport unter schwankendem Wasserspiegel in Anlehnung an Lysimeterexperimente (LUH-IRS und FSU-AnGeo) und Validierung des ECOLEGO-Modellteils „Bodentransport“.

AP-5: Erweiterung des ECOLEGO-Modellteils „Pflanze“ im Hinblick auf die Ergebnisse der Experimente des HZDR-IRE und des LUH-IfB.

AP-6: Erweiterung des ECOLEGO-Modellteils „Dosisberechnung“; Berechnung der BDCF und die Dosisabschätzung über lange Zeiträume mit anschließender statistischer Analyse.

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

AP-übergreifend: Internes Kick-off Meeting des Öko-Instituts und Erstellung des Arbeitsplans für das 1. Quartal 2023, Einplanung des Kick-off-Meetings mit den Projektpartnern, Kontaktaufnahme mit der Fa AFRY zum Kauf der aktuellen Version der Software ECOLEGO.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP-übergreifend: Installation ECOLEGO und Follow-up zur neuen Version mit Fa AFRY; Kick-off-Meeting mit Projektpartnern in Jena.

In dem 1. Halbjahr 2023 soll zunächst das Vorgehen bei den anstehenden APs abgestimmt werden, welche in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern umgesetzt werden sollen. Die Arbeitsvorgehensweise beim Aufbau des ECOLEGO-Modells wird dann entsprechend angepasst. Da betrifft insbesondere

AP-1: Abstimmung zum Aufbau und Ablauf der Lysimeterexperimente mit schwankenden Wasserständen sowie der Rhizoboxen-Experimente mit FS-AnGeo/LUH-IRS und Vorbereitung zu AP2: Prüfung Schnittstellen 3D-HYDRUS und ECOLEGO unter Berücksichtigung von der aktuellen Version 5.2 HYDRUS (2D/3D) mit FS-AnGeo.

AP-3: Ausarbeitung und Prüfung der Optionen der Darstellung der Kd-Wert-Variabilität (Bezug Modellteil „Bodentransport“) im Programm ECOLEGO und Start des Aufbaus der Kd-Wert-Datenbank in Anlehnung an Smart-Kd-Konzept); dazu Austausch zu Untersuchungen des Einflusses der Mineralphasen, der Organik und des pH-Wertes auf die Kd-Wert-Variabilität relevanter Radionuklide mit UB-IUP (PHREEQC).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

TRANS-LARA (“Transport- und Transferverhalten langlebiger Radionuklide entlang der kausalen Kette Grundwasser-Boden-Oberfläche-Pflanze unter Berücksichtigung langfristiger klimatischer Veränderungen“), BMBF-Zuwendungsprojekt - Förderkennzeichen: 02NUK051E.

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9437E
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Universität Bremen - Institut für Umweltphysik	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse Teilvorhaben E: Geochemische Modellierung der in den Teilvorhaben A und B untersuchten Systeme	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 31.10.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 307.989,64 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Matthias Günther	E-Mail-Adresse des Projektleiters: matthias.guenther@mevis.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Transportprozesse potenziell freigesetzter langlebiger Radionuklide (RN) aus einem Endlager für radioaktive Abfälle über den Wasserpfad und den Boden bis in Pflanzen und damit in die Nahrungskette des Menschen müssen für die Langzeitprognose eines Endlagersystems bekannt sein und sind integraler Bestandteil radioökologischer Berechnungen zur Dosisabschätzung. Untersuchungen zu RN-transport, -speziation und -partitionierung im Boden sowie der RN-aufnahme in Pflanzen, als auch Modelle zur Beschreibung dieser Prozesse berücksichtigen bisher kaum den Einfluss von Mikroorganismen und nanopartikulärer Phasen. Pflanzen modifizieren über Wurzelabscheidungen u.a. Mikroorganismengesellschaften sowie RN-Sorptionsmechanismen in der Rhizosphäre. Mikroorganismen wiederum sind von zentraler Bedeutung für biogeochemische Prozesse der Pedosphäre und damit für die Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit von RN, da sie pH- und Redox-Verhältnisse alterieren, die RN sorbieren oder inkorporieren (biomineralisieren) oder Komplexbildner ausscheiden. Natürliche nanopartikuläre Phasen in der Boden-Porenlösung nehmen ähnlichen Einfluss, wobei die Rolle dieser Phasen in Präsenz von Wurzelexsudaten noch nicht geklärt ist. Weiterhin tragen variable hydraulische Bedingungen in Bodensystemen zur potenziellen Remobilisierung von RN und zu einer Veränderung der Zusammensetzung der Bodenorganismengemeinschaften und der Mobilität nanopartikulärer Phasen bei. Gesamtziel des Verbundprojektes ist die deutliche Vertiefung des mechanistischen Verständnisses von nano- bis mesoskaligen Mobilitätsprozessen von RN in der Pedosphäre und Rhizosphäre sowie von Aufnahmemechanismen in Pflanzen und die Überführung des generierten Prozessverständnisses in makroskalige Biosphärenmodelle.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm Teilprojekt E

AP-1: Literaturstudie zum Stand der Wissenschaft hinsichtlich der Bodenchemie von Pu, Am, I, Se, Tc, U, Eu und Cm.

AP-2: Integration der neuen RN in das UNISECS-Modell, Modellaktualisierung, Validierung.

AP-3: Sensitivitätsanalysen und Erstellung von K_d -Matrizen für den Unterboden, Vergleich der Ergebnisse für Eu mit denen von Am und Cm.

AP-4: Literaturstudie zu Pflanzenmetaboliten / Wurzelzone (soweit relevant für die geochemische Modellierung).

AP-5: Modellierung der Speziation und Partitionierung der RN U, Pu und Cm bzw. Eu außerhalb sowie innerhalb der Wurzelzone.

AP-6: Sensitivitätsanalysen und Erstellung von K_d -Matrizen für die Wurzelzone.

AP-7: Vergleich der Modellergebnisse mit experimentellen Daten, ggf. Modifikation der Modelle.

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

Es konnten noch keine Arbeiten durchgeführt werden, da die Stellen noch nicht besetzt werden konnten.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Besetzung der Stellen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Anschlussvorhaben zu Trans-LARA (Transport- und Transferverhalten langlebiger Radionuklide entlang der kausalen Kette Grundwasser-Boden-Oberfläche-Pflanze unter Berücksichtigung langfristiger klimatischer Veränderungen; FKZ 02NUK051D).

6. Berichte und Veröffentlichungen

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9419
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fachhochschule Südwestfalen	
Vorhabenbezeichnung: KernTrafo - Transformationskonzept für Personal von Kernkraftwerken im Rückbau	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2020 bis 30.04.2023	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.531.556,82 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Ralf Lanwehr	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: lanwehr.ralf@fh-swf.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

In PK 1, *KI-basierter Kompetenzmodellierung*, wurde Machine Learning verwendet, um Kompetenzcluster aus unstrukturierten Daten und internen Datenbanken zu identifizieren, die beschreiben, welche Kompetenzen derzeit im Demontageprozess notwendig sind. Diese werden mit den Fähigkeiten der vorhandenen Mitarbeitenden abgeglichen. So kann in verschiedenen Projektphasen festgestellt werden, welche Kompetenzen entscheidend zum Rückbau beitragen und wo gegebenenfalls erweitert werden müssen.

Die in PK 1 entwickelte Software schlägt zudem individuellen Mitarbeiter:innen vor, welche der offenen Stellen im Unternehmen am besten zu ihrem persönlichen Kompetenzprofil passen. So wird es ihnen ermöglicht, passende Positionen für sich selbst zu identifizieren. Zusätzlich schlägt sie Weiterbildungsangebote vor, die dabei unterstützen, die für die neue Position fehlenden Kompetenzen zu erlernen. Die Mitarbeitenden erhalten ihre persönlichen Vorschläge, die Personalabteilung erhält nur eine anonymisierte Matchingliste der besten Vorschlagsreihung.

In PK 2, *Führung*, werden Führungskräfte auf die Führungsarbeit in einer komplexen Transformation vorbereitet. Der Rückbau von Kernkraftwerken erfordert die Erkundung neuer Arbeitsweisen und Prozesse, ohne die sicherheitsrelevanten Aspekte zu vernachlässigen. Dafür wurden ein Einzeltraining und ein umfassendes Führungskräfte- entwicklungsprogramm mit drei Modulen konzipiert. Das Training *Führung Einsteiger* unterstützt diejenigen Führungskräfte, die zum ersten Mal eine Führungsaufgabe übernehmen und vermittelt die nötigen Grundlagen. In dem Führungskräfteentwicklungs- programm arbeiten die Führungskräfte in stabilen Lerngruppen in den Modulen „Change-Management“, „Persönlichkeit“ und „Charisma & Motivation“ in Trainings- und Transferphasen zusammen. Die einzelnen Module sind so angelegt, dass sie zwar in Kombination den größten Mehrwert bringen, aber auch als Einzeltrainings funktionieren.

Die Führungskräfte erhalten ein umfassendes, wissenschaftlich fundiertes Fach- und Praxiswissen zu sämtlichen Führungsanforderungen in dem anspruchsvollen Umfeld eines Wechsels vom Leistungs- in den Rückbaubetrieb und der langfristigen Gestaltung des Rückbaus. Im Rahmen des Projekts KernTrafo werden sämtliche Module in Rückbauanlagen der RWE Nuclear GmbH durchgeführt und in Zusammenarbeit mit den teilnehmenden Führungskräften an die speziellen Anforderungen des Rückbaus angepasst.

Die PK 3 unterstützt Abteilungen und Teams dabei, im Veränderungsprozess ihre Zusammenarbeit zu reflektieren und diese stärkenorientiert zu optimieren. Gemeinsam

sammeln sie Informationen zu ihrer Zusammenarbeit, analysieren diese und definieren auf Grundlage der daraus gewonnenen Erkenntnisse neue Vorgehensweisen und Aufgabenzuordnungen. Die Mitarbeiter:innen erhalten die Chance, gemeinsam mit Kollegen und der Führungskraft ihre Arbeit zu re-designen, um die Anpassung an ihre Bedürfnisse, Präferenzen und Fähigkeiten zu erhöhen. Das Ziel der gesamten PK 3 ist es, zugleich die Zusammenarbeit und Teamprozesse effizienter zu gestalten wie auch Stress und Demotivation zu vermeiden. 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

PK 1 besteht aus vier Hauptphasen:

1. Erzeugung einer nutzbaren Datenbasis
2. Entwicklung eines Algorithmus zur Identifikation sinnvoller und für den Rückbau relevanter Kompetenzcluster
3. Überführung des Algorithmus in einen Prototypen
4. Übergabe der Software an einen Verwertungspartner und zusammenführen der Angebote

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. Übergabe der Trainingskonzepte und Unterlagen an einen Verwertungspartner

PK3 besteht aus zwei Hauptphasen:

1. Entwicklung und Durchführung eines Job Crafting-Konzepts für Mitarbeiter:innen
2. Übergabe der Trainingskonzepte und Unterlagen an einen Verwertungspartner

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

Meilensteinplanung: Administration

Mit der peopleForecast GmbH und dem Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) konnten im Herbst 2022 Zusammenarbeitsverträge geschlossen werden, die eine Anschlussverwertung der Projektergebnisse ermöglichen. Aus diesem Grund wird ein Aufstockungsantrag für dieses Projekt erstellt.

Komponente 1: KI-basierte Kompetenzmodellierung

Die Software wurde um weitere von Bedarfsstellern definierte Funktionalitäten ergänzt. Beispielsweise sind Personen in der Lage, fehlende Skillsets zu ergänzen, was zu verbesserter Performance führt. Die Software wurde an vielen Stellen in Punkto Stabilität optimiert und verbessert, es wurden UI Konzepte entwickelt, um die User Experience zu erhöhen und die Software barrierefrei zu gestalten. Alle seitens RWE gestellten Anforderungen in Hinblick auf Datensicherheit, Anonymisierung und Benutzerführung wurden berücksichtigt und flossen in die Entwicklung ein.

Komponente 2: Paradoxe Führungsstile

Trainings Paradoxe Führung

Das Führungskräfte-Modul “Flexibilisierende Führung” wurde im Oktober 2022 zweimal am Standort Gundremmingen durchgeführt. Zusätzlich wurde in Biblis im November 2022 das zweite Training “Persönlichkeit” durchgeführt.

Durchführung der Führungskräfte Trainings innerhalb der RWE Nuclear:

Führung Einsteiger:	1 x KKB - durchgeführt
Change-Management (Flexibilisierende Führung):	2 x KKB - durchgeführt
Persönlichkeit	2 x KKB - geplant für Mai/Juni 2023
Charisma & Motivation	1 x KKB - geplant für April/Mai 2023

Theoretische Inhalte der Module:

Change-Management

- Führen in verschiedenen Kulturdimensionen (Cameron, 2011)
- Umgang mit Paradoxien, z.B: Zielkonflikte. (Zhang et al., 2015)
- Change Ansätze (Romanelli and Tushman, 1994; Lewin, 1947; Kotter, 2012; Weick & Quinn, 1999)
- Theorien des Widerstands (Festinger, 1957; Schein, 1988; Oreg 2003)
- Zeitmanagement
- Fairnesswahrnehmung in der Veränderung von Organisationen (Folger et al. 1979; Skarlicki & Latham 1996)
- Motivation und Demotivation (Lencioni, 2002; Herzberg, 1998)

Persönlichkeit

- Grundlagen und Definitionen zum Thema Persönlichkeit (Gerrig, 2018)
- Das Big Five Persönlichkeitsmodell (Allport und Odbert, 1936)
- Verstehen der fünf Dimensionen der Persönlichkeit
- Auswirkungen von Persönlichkeit auf die Zusammenarbeit
- Verstehen der Ergebnisse des eigenen Persönlichkeitstests
- Transfer in den Arbeitsalltag
- Persönlichkeit im Team

Im Rahmen des Train-the-Trainer Ansatzes nahmen drei Mitarbeitende der RWE Nuclear an mehreren Trainings teil und erhielten eine Einführung in die Vermittlung der Trainingsinhalte. Aus internen Gründen seitens der RWE Nuclear wurde entschieden, dass die Trainings in Zukunft nicht durch interne Trainer durchgeführt werden sollen. Die RWE Nuclear erhält sämtliche Unterlagen zur Trainingsdurchführung, so dass externe Anbieter von Führungskräfte Trainings in der Lage sein sollten, die in KernTrafo konzipierten Trainings an weiteren Standorten zu halten.

Komponente 3: Job Crafting

In Absprache mit dem Transformations-Team RWE Nuclear GmbH wurde dieses Training in den Februar 2023 verschoben. Die Konzeption und Verprobung der Workshop-Inhalte fand bereits im Dezember 2022 statt.

Ziel der Workshops ist es, den Teams die Möglichkeit zu geben, ihre Zusammenarbeit gemeinsam zu reflektieren und aus diesen Erkenntnissen Konzepte für eine bessere Zusammenarbeit zu entwickeln. Zusätzlich werden die Stärken der einzelnen Mitarbeitenden mit den ihnen zugewiesenen Aufgaben verglichen, um diese Aufgaben gegebenenfalls stärkenorientiert umzuverteilen. Die Kombination der Konzepte einer SCRUM Retrospektive (Marshburn, 2018) mit Job Crafting (Wrzesniewski & Dutton, 2001; Tims & Bakker, 2010) wird diesen Anforderungen in einem hohen Maß gerecht.

Grundsätzliche Inhalte der Team Workshops

- Identifikation der persönlichen Stärken jedes Teammitglieds
- Definieren der Team-Werte
- Identifikation der Stärken des Teams und der Verbesserungspotentiale
- Ableiten von konkreten Maßnahmen zur Verbesserung der Zusammenarbeit
- Optimieren der Aufgabenverteilung im Team

Auf Grundlage von Gesprächen mit HR und den Bereichsleitern konnten die folgenden Handlungsfelder identifiziert werden:

- Kennenlernen der Mitarbeitenden in neu zusammengestellten Teams
- Aufarbeiten von Konflikten
- Identifikation von Schwachstellen
- Stärkung der Position neu ernannter Führungskräfte
- Steigerung der Effizienz in der Zusammenarbeit

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Komponente 1:

Zusammenführung der Software mit Verwertungspartner

Die peopleForecast ist daran interessiert, Komponenten der entwickelten Software in ihre eigene Entwicklung aufzunehmen und zu integrieren. Insbesondere die Module Datenaufnahme und -bereinigung sowie die entwickelten neuartigen ML Verfahren müssen bedarfsangepasst übernommen werden. Da entwickelte ML Modelle immer nur für eine Problemstellung funktional sind, müssen mittels 'Transfer Learning' Verfahren und weiterhin mittels sogenanntem 'Nachtrainieren' (Übertragung von ML Modellen in andere Domänen) Wege entwickelt werden, die sicherstellen, dass die Übertragbarkeit funktional und valide ist. Weiterhin existieren für die deutsche Sprache keine nennenswerten Verfahren zur Erkennung der Voreingenommenheit (auch: Bias; s. Beschreibung PK 1), was aber eine absolute Relevanz bei der Fusion von auf ML basierenden Systemen hat. Daher besteht eine der Kernaufgaben bei der Integration der Skillsoftware darin, sicherzustellen, dass die ML Modelle weiterhin objektive Entscheidungen treffen. Neben der Datensäuberung und -kuration ist die Implementierung und Testing dieses Schritts ein weiterer arbeitsintensiver Teil.

Publikation auf GitHub

Das Gesamtprojekt soll als Open-Source-Projekt auf der GitHub Plattform veröffentlicht werden. Die von RWE Nuclear bereitgestellten Datensätze sind aufgrund von DSGVO Richtlinien und der Vorgaben des Partners nicht Gegenstand der Veröffentlichung. Es werden aber die trainierten Modelle, die auf Basis öffentlich verfügbarer Daten entwickelt und um die von peopleForecast erweiterten Datenbasis entwickelt worden sind, ebenfalls bereitgestellt. Hierbei ist auf die gewählte Lizenz und die Richtlinien dieser zu achten, so dass sichergestellt werden kann, dass weitere Projekte hierauf aufsetzen können und eine Verwertung erfolgen kann.

Projektwebseite

Das gesamte Projekt soll auf einer Projektwebsite publiziert werden. Die Inhalte und Kernergebnisse werden hier erläutert und insbesondere eine Handreichung zur weiteren Verwendung bereitgestellt. Die im Rahmen der Forschung entwickelten neuartigen Verfahren (Deep Learning Ansätze, Bias-Detection) werden dargestellt und ihr Effekt auf mögliche andere Use Cases erläutert.

Unterstützung bei der Erstellung von Marketingunterlagen

Um die Projektergebnisse entsprechend bewerben zu können, werden umfangreiche Marketingunterlagen erstellt, die einerseits das Marketing des Projekts im Netz sowie auch auf nachfolgenden Konferenzen (z.B. KonTec) erleichtern. In erster Linie soll hier der Benefit des Einsatzes einer solchen Skill-Software erläutert werden und wie diese zu einer objektiveren datengetriebenen Gesamteinschätzung des Personalstamms führen kann, was sich in effektiver eingesetzten Teams innerhalb des Unternehmens niederschlägt.

Komponente 2:

Die Durchführung der Module Persönlichkeit und Charisma & Motivation steht zum Teil noch aus. Für die Module Persönlichkeit (KRB) und Charisma & Motivation (KBB) wurden seitens der RWE Nuclear bisher noch keine verbindlichen Trainingstermine kommuniziert. In der Grobplanung gehen wir von März - Mai als Durchführungszeitraum aus. Diese Module werden folglich mit hoher Wahrscheinlichkeit in den Zeitraum der Projektverlängerung fallen.

Sämtliche in der PK 2 konzipierten Trainings sind auf die interne Nutzung innerhalb einzelner Standorte der RWE Nuclear GmbH ausgelegt. Das KernTrafo-Team wird folglich alle Trainingskonzepte so umarbeiten, dass sie mit gemischten Gruppen aus verschiedenen Unternehmen durchführbar sind.

Die Trainingsunterlagen (Folien, Arbeitsblätter, etc.) sind bisher im Design der WIR Akademie der RWE Nuclear mit internen Schriftarten, Icons, etc. gestaltet. So wurde eine größere Nähe zu den Teilnehmer:innen erreicht. Sie müssen folglich alle vor der Publikation in neue, durch die Fachhochschule Südwestfalen nutzbare Designs überführt werden. Diese Unterlagen werden sowohl an die AiNT übergeben als auch auf der KernTrafo Projektwebseite veröffentlicht.

Um eine gleichbleibende Qualität der Trainings sicherzustellen, werden für jedes Training ausführliche Trainerleitfäden erstellt, die zukünftigen Trainer:innen eine exakte Anleitung zur Durchführung der Trainings zur Verfügung stellen. Die Trainer:innen der AiNT erhalten zusätzlich noch ein Train-the-Trainer Angebot, in dem sie persönlich auf die erste Durchführung der Trainings vorbereitet werden.

Um das Angebot bei den Bedarfsträgern der Kerntechnik bekannt zu machen, planen die Mitglieder der KernTrafo Teams gemeinsam mit AiNT und peopleForecast die Projektergebnisse und die Kooperation zur Verwertung auf der KonTec und anderen Fachkonferenzen zu präsentieren. Darüber hinaus ist eine Publikation in der atw - International Journal for Nuclear Power, angedacht.

Komponente 3:

Die Durchführung der Workshops der PK 3 sind für den Februar 2023 geplant. Die Vorbereitungen für die Durchführung laufen planmäßig.

Im Anschluss an die Durchführung wird das KernTrafo-Team auch hier sämtliche Unterlagen für die Publikation auf der Webseite aufbereiten, Trainerleitfäden schreiben und den Trainerinnen der AiNT ein individuelles Train-the-Trainer Konzept anbieten.

Gemeinsam mit den Inhalten der PK 2 werden auch die Inhalte der PK 3 in die Marktkommunikation aufgenommen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

KI-Komponente

Ausgehend von unseren Forschungsergebnissen konnten wir unser leistungstärkstes 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.

Paradoxe Führung

Folgende Forschungsprojekte rund um das Thema Charisma sind in Arbeit/eingereicht

- Wilms, R., Seif el Dahan, C. (2022).
Are we on the same page? The moderating role of value congruence in the charismatic signaling–charismatic effect relationship. Eingereicht bei The Leadership Quarterly.
- Wilms, R., Krügl, S., Seif el Dahan, C., Hüster, H. (2023).
Unlocking the charismatic effect: Higher self-efficacy and value of the leader’s cause are the key. In Arbeit
- Krügl, S., Hüster, H., Wilms, R. (2023).
Real Leaders Emerge from Crises: A Study on Female and Male Governors’ Charisma in Times of the COVID-19 Crises. In Arbeit
- Wilms, R., Krügl, S. (2023).
Is charisma a costly signal? A Study on Ethical Misconduct in Crisis. In Arbeit

Folgende Konferenzbeiträge zum Thema charismatische Führung wurden eingereicht

European Association of Work and Organizational Psychology (EAWOP) Congress

- Wilms, R., Krügl, S., Hüster, H. Real Leaders Emerge from Crises:
A Study on Female and Male Governors’ Charisma in Times of the COVID-19 Crises. (Accepted)
- Wilms, R., Seif el Dahan, C.
Are we on the same page? The moderating role of value congruence in charismatic signaling-charismatic effects relationship. DOI: 10.31219/osf.io/s5q6d (Accepted)
- Krügl, S., Seif el Dahan, C., Hüster, H.
Learning Charisma 2.0: A Gamified Experience (Accepted)

Interdisciplinary Perspectives on Leadership Symposium

Wilms, R., Krügl, S. (2023).

Is charisma a costly signal? A Study on Ethical Misconduct in Crisis.

Publikationen im Umfeld Change Management

- Krügl, S. (2022), Der (Un)Sinn von Purpose: Evidenzbasierte Ansätze zur Gestaltung von sinnhaftem Handeln in Unternehmen, Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO). DOI: 10.1007/s11612-022-00628-7
- 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: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9426A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Ruhr-Universität Bochum – Fakultät für Psychologie	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: 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 wurden AP 4 (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 Festlegung der technischen und nicht-technischen Anforderungen an die digitale Lernumgebung) sowie AP6 (Auswahl und Festlegung von Trainingsmethoden und Trainingsmedien sowie Ausarbeitung der Trainingsunterlagen) abgeschlossen. Darüber hinaus wurden der Trainingsablaufplan sowie die

Trainingsdrehbücher ausgearbeitet und fertiggestellt (AP7) sowie die Pilotdurchführung geplant, welche in Q1 2023 durchgeführt wird.

Aufgrund nicht eruierbarer Softwarefehler musste die im Berichtszeitraum 01/22-06/22 entwickelte Multiplayer-Umgebung neu aufgesetzt werden. Darüber hinaus wurde diese um weitere Interaktionsmöglichkeiten erweitert und grafisch vereinheitlicht. Es wurden konkrete Szenarien und die damit verbundenen Funktionalitäten in die MX-Umgebung eingebunden.

Des Weiteren wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit das im Berichtszeitraum 07/21-12/21 erstellt Lernszenario zum Dekontstrahlen weiterentwickelt: hier wurde der ursprüngliche Prototyp mit zusätzlichen Funktionalitäten (u.a. verschiedener Dekont-Modi und Strahler-Düsen) erweitert und grafisch aufgewertet (vgl. 15.).

Im Berichtszeitraum fanden 7 bilaterale virtuelle Meetings zwischen RUB und GfS statt, ein weiteres virtuelles Meeting zwischen RUB und dem Projektpaten der PEL.

Der Steuerungskreis (bestehend aus Vertreter/Innen der RUB, der GfS und der PEL) hat sich im Berichtszeitraum i.S. eines Jour Fixe einmal virtuell getroffen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Weiterarbeit orientiert sich an oben dargelegtem Arbeitsprogramm. Im kommenden Berichtszeitraum (01/23 – 06/23) wird AP7 abgeschlossen, AP8, AP9 und AP10 werden durchgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Wie bereits im letzten HJB berichtet hat Frau Prof. Dr. Kluge das Technical Meeting HR Development for Decommissioning (EVT2103799) in Wien vom 18. – 22.07.22 moderiert.

Berichtszeitraum: 01.07.2022 bis 31.12.2022	Förderkennzeichen: 15S9426B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Gesellschaft für Simulatorschulung mbH	
Vorhabenbezeichnung: Verbundvorhaben: 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

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 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 abgeschlossen.
- AP 5 ist abgeschlossen.
- AP 6 ist abgeschlossen.
- AP 7 - der Trainingsablaufplan sowie die Trainingsdrehbücher sind ausgearbeitet und fertiggestellt. Die Pilotdurchführung ist geplant, welche in Q1 2023 durchgeführt wird.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Weiterarbeit orientiert sich an oben dargelegtem Arbeitsprogramm. Im kommenden Berichtszeitraum (01/23 – 06/23) wird AP7 abgeschlossen, AP8, AP9 und AP10 werden 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 stetig 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.