

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum

1. Juli - 31. Dezember 2023





Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
1. Juli - 31. Dezember 2023

Vom Bundesministerium
für Bildung und Forschung
geförderte Vorhaben

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

GRS - F - S 23-II

Vorwort

„Mit der Abschaltung der letzten drei deutschen Kernkraftwerke am 15. April 2023 ist der Ausstieg Deutschlands aus der Stromerzeugung durch Kernenergie vollzogen. Die außer Dienst gestellten Anlagen müssen nun sicher, verantwortungsvoll und umweltverträglich stillgelegt, rückgebaut und die dabei anfallenden Abfälle entsorgt werden.“

(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 und Optimierung technologischer Lösungen und durch die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses die Bewältigung der anstehenden Aufgaben.

Im Auftrag des BMBF informiert die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH halbjährlich über den Stand der im Rahmen von FORKA geförderten Forschungsprojekte. Dazu gibt sie eine eigene Fortschrittsberichtsreihe heraus. Jeder Fortschrittsbericht stellt eine Sammlung von Einzelberichten der geförderten Projekte dar, die von den Forschungsstellen selbst als Dokumentation ihres Arbeitsfortschritts in einheitlicher Form erstellt werden.

Berichte ab dem Jahr 2017 sind über die Webseite des Projektträgers GRS (www.projekttraeger.grs.de) öffentlich verfügbar. Auf Fortschrittsberichte aus früheren Jahren kann über die Webseite des Projektträgers Karlsruhe (<http://www.ptka.kit.edu/ptka-alt/wte/287.php>) zugegriffen werden.

Die inhaltliche Gliederung der Berichtssammlung orientiert sich an den fachlichen Schwerpunkten des Förderkonzeptes FORKA (Bekanntmachung der Förderrichtlinie zum Förderkonzept FORKA von 2023). Die Anordnung der 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.

Förderkennzeichen	Themenbereich	Seite
01.	Zerlege- und Dekontaminationsverfahren	
15S9429A	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Simulationsbasierte Werkzeugauslegung und Untersuchung des Einsatzverhaltens	7
15S9429B	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Bindungs- und fertigungsspezifische Seilschleifwerkzeugentwicklung	11
15S9429C	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Einfluss der Verwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung auf die im industriellen Rückbau verwendete Maschinentechologie	14
15S9429D	VP: Hocheffiziente Seilschleifwerkzeuge mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Anwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung im industriellen Rückbau	17
15S9429E	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Auslegung und Herstellung neuartiger Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schneidstoffanordnung	19
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	25
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	29
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	34
15S9434B	VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA), TP: Analytik für die Beprobung von Beton	39
15S9434C	VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA), TP: Elektronische Ergebnisdokumentation, Beprobungsplanung und Wissensmanagement	41
15S9435A	VP: Visualisierung von Störstellen für Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessungen mit Hilfe von BIM (ViSDeMe), TP: Entwicklung eines innovativen Verfahrens für die Erstellung eines BIM-Modells für die zu bearbeitenden Räumlichkeiten einschließlich der Integration von Störstellen	45
15S9435B	VP: Visualisierung von Störstellen für Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessungen mit Hilfe von BIM (ViSDeMe), TP: Praxisversuche und praxisorientierte Beratung bei Anwendung des BIM-Modells für Planung und Durchführung der Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessung	48
15S9439A	VP: Autonome robotergestützte Reinigung und Vormessung (ARRIVE), TP: Prototypbau einer autonomen Anlage zur Dekontamination und radiologischen Messung	51
15S9439B	VP: Autonome robotergestützte Reinigung und Vormessung (ARRIVE), TP: Autonome Laserablation und radiologische Vormessung	55
15S9440A	VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont-2), TP: Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster	59
15S9440B	VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont-2), TP: Durchführung experimenteller Versuche und Auswertung der Versuchsmuster	62

Förderkennzeichen	Themenbereich	Seite
15S9440C	VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont-2), TP: Detaillierung und Ausgestaltung der Versuchsmuster samt Einhausung mit Absaugung	65
15S9440D	VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont-2), TP: Praxisversuche und Verifizierung	68
15S9444A	VP: Entwicklung eines Beprobungssystems inklusive qualitätsgesichertem Beprobungsverfahren für nicht zugängliche Bereiche (BERO), TP: Aufbau eines Versuchstandes und Untersuchungen zu möglichen Beprobungs- und Ausbauoptionen von Rohrleitungen inkl. Entwicklung eines qualitätsgesichertem Beprobungsverfahrens	71
15S9444B	VP: Entwicklung eines Beprobungssystems inklusive qualitätsgesichertem Beprobungsverfahren für nicht zugängliche Bereiche (BERO), TP: Konstruktion und Herstellung eines innovativen Trägersystems inkl. Beprobungs- und Ausbaupopf für Rohrleitungen in nicht zugänglichen Bereichen	73
02.	Freigabeverfahren und konventionelle Entsorgungswege	
15S9409A	VP: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen (EMPRADO), TP: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung in reaktornahen Bauteilen und deren Validierung an Experimenten als Basis der Aktivitätsrechnungen	75
15S9431A	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie (QGRIS), TP: Gerätebau und -entwicklung	78
15S9431B	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie (QGRIS), TP: Bildrekonstruktionsverfahren	85
15S9431C	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, Richtungaufgelöster In-Situ-Gammaspektrometrie (QGRIS), TP: Experimentelle Untersuchungen und Simulation	88
15S9431D	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie (QGRIS), TP: Qualifizierung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen	92
03.	Behandlung radioaktiver Abfälle	
15S9423A	VP: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (NaMaSK), TP: Durchführung der Versuche mit inaktivem Probenmaterial	95
15S9423B	VP: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (NaMaSK), TP: Durchführung von Versuchen mit radioaktivem Probenmaterial	97
15S9428A	VP: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA), TP: Projektkoordination sowie ökologische und radiologische Bewertungen	100
15S9428B	VP: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA), TP: Entwicklung von Recyclingstrategien und Identifizierung von ökonomischen Verwertungswegen	103
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	106

Förderkennzeichen	Themenbereich	Seite
15S9428D	VP: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTeCKA), TP: Ermittlung des intrinsischen Materialwerte	109
15S9433A	VP: Weiterentwicklung u. Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagegerechten Konditionierung C-14-belasteter flüssiger organischer Abfälle mit C-14-Recycling auf Basis der elektrochemischer Totaloxidation (C14-Recycling), TP: Weiterentwicklung u. Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Fraktionierung des Anodengases	112
15S9433B	VP: Weiterentw. und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagergerechten Konditionierung C-14-haltiger flüss. org. Abfälle (C14-Recycling), TP: Weiterentwicklung des Verfahrens zur totzeitarmen C-14 Bestimmung mittels Flüssigszintillation und Untersuchungen zur Freimessung von C-14-Rückständen n. elektrochemischer Behandlung	114
15S9433C	VP: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagergerechten Konditionierung C14-belasteter flüssiger organischer Abfälle (C14-Recycling), TP: Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Isotopentrennung zur Rückgewinnung von C14	117
15S9441	Konditionierung von mittelaktiven (ILW) Ionentauscherabfällen aus der Chemischen System Dekontamination (SRT)	119
15S9442	Charakterisierung und Dekontamination von i-Grafiten (i-GraDe)	121
04.	Abfalldeklaration und Zwischenlagerung	
15S9432	Forschungsarbeiten zur Entwicklung eines bildgebenden, zerstörungsfreien Analyse- und Deklarationsverfahrens für radioaktive Abfallgebinde, basierend auf lasergetriebenen Neutronenquellen (ZARA-LAN)	124
15S9436A	VP: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (DABKO), TP: Koordination und Erstellung der BIM Modelle	128
15S9436B	VP: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (DABKO), TP: BIM, Game-Engine, optimierte Verpackungsplanung und FLUKA Simulation	131
15S9436C	VP Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (DABKO), TP: Datenbank	134
15S9443	Aus- und Weiterbildung sowie Kompetenzerhalt im Bereich der zerstörungsfreien Analyse von radioaktiven Stoffen und Abfallprodukten aus Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen (EducTUM)	137
15S9446A	VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebinden (ZIKA), TP: Konzeption, Bau des Demonstrators und Durchführung von Test- und Praxisphase	140
15S9446B	VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebinden (ZIKA), TP: Untersuchung und Bewertung der Eignung verschiedener ZfP-Verfahren, sowie Hard- und softwaremäßige Unterstützung bei der Integration von ZfP-Verfahren in den Demonstrator	143
15S9446C	VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebinden (ZIKA), TP: Planung und Projektberatung, sowie Vernetzung mit Experten aus dem Bereich der Kerntechnik	146
05.	Umwelt- und Strahlenschutz	
15S9437A	VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse (TRAVARIS), TP: Einfluss von natürlichen nanopartikulären Phasen auf die Radionuklidverteilung im Wirkungsgefüge Boden-Pflanze	149

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
15S9437B	VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse (TRAVARIS), TP: Remobilisierung von Radionukliden [...], Charakterisierung mikrobieller Diversität im Boden und die Beeinflussung durch Radionuklide und Wurzelexsudate	152
15S9437C	VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse (TRAVARIS), TP: Einfluss der Bodenmikrobiologie auf den RN-Transfer und Verifizierung von Aufnahmemechanismen für RN in Pflanzen	155
15S9437D	VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse (TRAVARIS), TP: Radioökologische Modellierung	158
15S9437E	VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse (TRAVARIS), TP: Geochemische Modellierung der in den TPen A und B untersuchten Systeme	161
15S9445A	VP: Einfluss der Mykorrhizosphäre von Bäumen auf die Bodenentwicklung und Erosionsverminderung von Uran-Bergbaufolgelandschaften (MykoBEst), TP: Dendroanalyse, Bildung organische Bodensubstanz, Mykorrhizosphärenprozesse, (kolloidaler) Schwermetall/Radionuklid-Austrag & Drohnenbefliegungen	163
15S9445B	VP: Einfluss der Mykorrhizosphäre von Bäumen auf die Bodenentwicklung und Erosionsverminderung von Uran-Bergbaufolgelandschaften (MykoBEst), TP: Entwicklung von Verfahren zur gezielten Vitalisierung des Wismut-Sanierungswaldes mittels Bodenmikroorganismen und Prüfung minimalinvasiver Biomonitoring-Methoden	166
15S9445C	VP: Einfluss der Mykorrhizosphäre von Bäumen auf die Bodenentwicklung und Erosionsverminderung von Uran-Bergbaufolgelandschaften (MykoBEst), TP: Wirtschaftliche Begleitung und Bewertung	168
06.	Mensch und Organisation	
15S9426A	VP: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken (Rückbaukompetenzen)	170
15S9426B	VP: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken (Rückbaukompetenzen)	173

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9429A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen	
Vorhabenbezeichnung: VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: 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 erfolgt durch eine definierte Anordnung der Schleifkörner. Durch eine deterministische Anordnung der Schleifkörner werden die Prozesskräfte gleichmäßig auf die verschiedenen Körner verteilt, wodurch ein gleichmäßiger Verschleiß am Schneidsegment resultiert. Hierdurch ist eine Steigerung der Zeitspanfläche durch eine Erhöhung der Prozessstellgrößen möglich. 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 4:**

Nachdem im letzten Berichtszeitraum festgestellt wurde, dass die hergestellten Prototypen mit deterministisch besetzten Schleifsegmenten im ungeschärften Initialzustand nur eingeschränkt einsatzfähig waren, wurden diese zunächst vom Projektpartner DIABÜ initial geschärft. Dabei zeigte sich, dass es bei den Werkzeugen mit dem gewählten cBN-Korn nicht möglich ist, einen signifikanten Kornüberstand herzustellen. Zwar kann die Bindung erfolgreich abgetragen werden, allerdings kommt es im Schärfprozess auch zu großflächigen Absplitterungen der Abrasivkörner, wahrscheinlich aufgrund einer geringen Festigkeit des cBN-Korns. Aus diesem Grund wurde zusätzlich ein weiterer Prototyp mit der doppelten Anzahl an Kornlagen (FeCuP cBN50-10) und ein Prototyp mit Diamantkorn (FeCuP D-5) von den Projektpartnern IFAM und DIABÜ hergestellt. Durch die Erhöhung der Kornanzahl soll die Belastung für das einzelne Korn gesenkt und die Redundanz des Setzmusters erhöht werden. Das Diamantkorn besitzt eine höhere Festigkeit als das cBN und sollte entsprechen weniger stark splintern.

Die vorbereiteten Werkzeuge wurden anschließend erneut auf dem Versuchsstand des IFWs eingesetzt und untersucht. In Bild 1 ist jeweils die mittlere Zeitspanfläche für alle im Berichtszeitraum eingesetzten Werkzeuge aufgetragen. Zusätzlich zu den verschiedenen deterministisch besetzten Prototypen wurden drei unterschiedliche industriell verfügbare Seile eingesetzt: Zwei einschichtige Diamantwerkzeuge mit Lot- bzw. Galvanikbindung („Lot D“, „Galvanik D“) und ein mehrschichtiges Diamantwerkzeug mit Sinterbindung („Sinter D“).

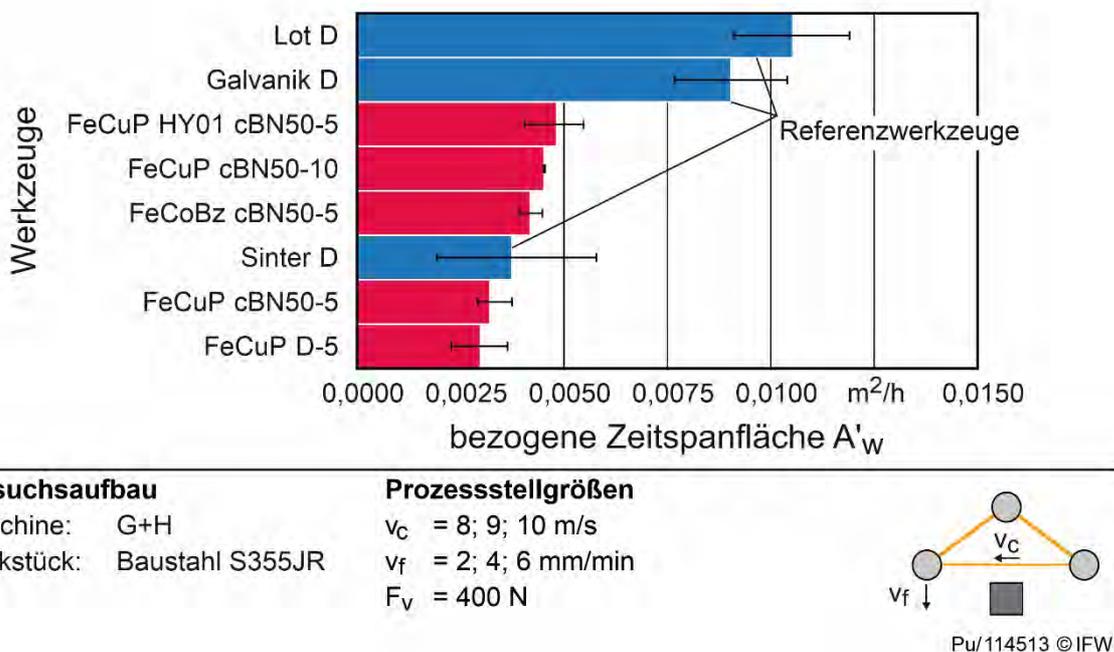
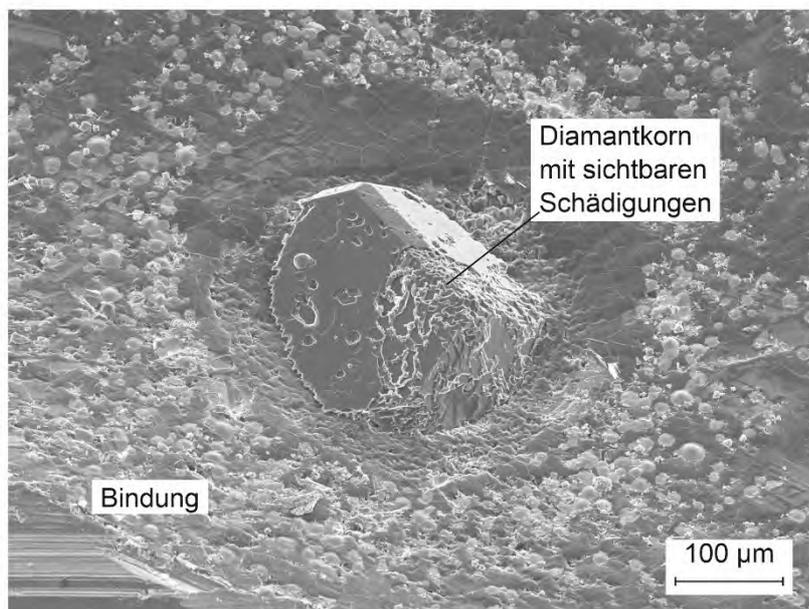


Bild 1: Ermittelte Zeitspanfläche für die verschiedenen Prototypen deterministisch besetzter Seilschleifwerkzeuge sowie für drei industriell hergestellte Referenzwerkzeuge.

Die geschärften Prototypen zeigen ein deutlich verbessertes Einsatzverhalten, in Form einer reduzierten Schwingungsneigung und einem erhöhten Materialabtrag gegenüber dem nicht

geschärften Zustand (hier nicht gezeigt). Die Zeitspanfläche der Prototypen liegt zwischen 0,0025 und 0,005 m²/h. Damit ist die Abtragsleistung der Prototypen auf einem Niveau mit dem gesinterten Industriewerkzeug (Sinter D). Die Zeitspanfläche der einschichtig belegten Industriewerkzeuge (Lot D, Galvanik D) ist um ca. 100 % erhöht.

Die primäre Ursache für die geringe Abtragsleistung der Prototypen wird auf die Eigenschaften der Abrasivkörner zurückgeführt. Wie oben beschrieben, ist die Festigkeit des bisher verwendeten cBN-Korns zu gering, um den Belastungen während des Schärfprozesses bzw. im Schleifprozess über einen längeren Zeitraum hinweg standzuhalten. Das verwendete Diamantkorn (FeCuP D-5) zeigt, bedingt durch den Herstellprozess und dadurch im Prozess auftretenden Diffusion von Eisen mit dem Kohlenstoff eine reduzierte Festigkeit auf (siehe Bild 2). Dies führt zu einem frühzeitigen Verschleiß oder Ausbrechen der Diamantkörner. Zum aktuellen Zeitpunkt dominieren die Eigenschaften der Abrasivkörner das Einsatzverhalten der Werkzeuge, sodass weitere Untersuchungen notwendig sind, um den Einfluss des Setzmusters auf die Leistungsfähigkeit der Werkzeuge aufzeigen zu können.



Pu/114516 © IFW

Bild 2. REM-Abbildung eines geschädigten Diamantkorns in der FeCuP-Bindung.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 4: Um das Einsatzverhalten der deterministisch besetzten Seilschleifwerkzeuge weiter zu verbessern, werden zwei Strategien verfolgt: Zum einen wird ein Prototyp mit einem, nach Aussage des Herstellers, hochfesten cBN-Korn hergestellt. Zum anderen wird geprüft, ob der Herstellprozess so angepasst werden kann, dass die Schädigung der Diamantkörner reduziert wird, wie beispielsweise durch Reduzierung der Sintertemperaturen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Posterbeitrag auf der Kontec 2023: „Kinematische Simulation des Seilschleifens mit deterministisch besetzten Schleifsegmenten für den Rückbau von Kernkraftwerken“
- Veröffentlichung mit dem Titel „Effect of bond hardness of additively manufactured grinding tool bonds on material removal efficiency during single grain grinding“ befindet sich im Review-Prozess

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9429B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) – Institutsteil Dresden	
Vorhabenbezeichnung: VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: 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/der Projektleiters/-in: thomas.weißgärber@ifam-dd.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

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

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

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

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

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

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

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

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

Untersuchung der Leistungsfähigkeit der neuen Seilschleifwerkzeuge an praxisnahen

Probekörpern und auf einem Rückbauprojekt. Erarbeitung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schleifkornanordnung.

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

Im aufgeführten Berichtszeitraum wurden die Ziele der Arbeitspakete AP3 und AP4 weiterverfolgt, wobei der Fokus der Arbeiten am Fraunhofer IFAM Dresden auf der Erstellung verschiedener Testmuster für die Analogietest der Werkzeuge als Schleifseil lag. Mit den bereits vorab definierten Legierungssystemen, CBN Schleifpartikeln und den ausgelegten Setzmustern wurden verschiedene Druckversuche zur Erstellung von Schleifperlen durchgeführt und hinsichtlich ihrer relevanten Parameter (AP3.3) untersucht und bewertet.

In dem Berichtszeitraum wurden somit 12 verschiedene Testserien von mit CBN beladenen Testperlen für Analogieuntersuchungen erstellt, welche anschließend den Projektpartnern zur weiteren Umsetzung als Sägeseil und die anschließende Testung der Anwendungsparameter bereitgestellt wurden. Durch diese Herangehensweise konnten im Berichtszeitraum weitere Technologiegrundlagen für eine spätere Fertigung über 3D-Druckprozesse ausgebaut und im Rahmen der Drucke für die Testseil-Schleifperlen die Parameter für die Prozesse verfeinert werden. Das primäre Ziel für den Druckprozess solcher Schleifperlen ist ein konstanter Druckprozess bei maximaler Bau- und minimaler Fehlerrate bei der Setzung von Schneidpartikeln, welches durch die Iteration der Drucktests mit weiteren Informationen unteretzt werden konnte.

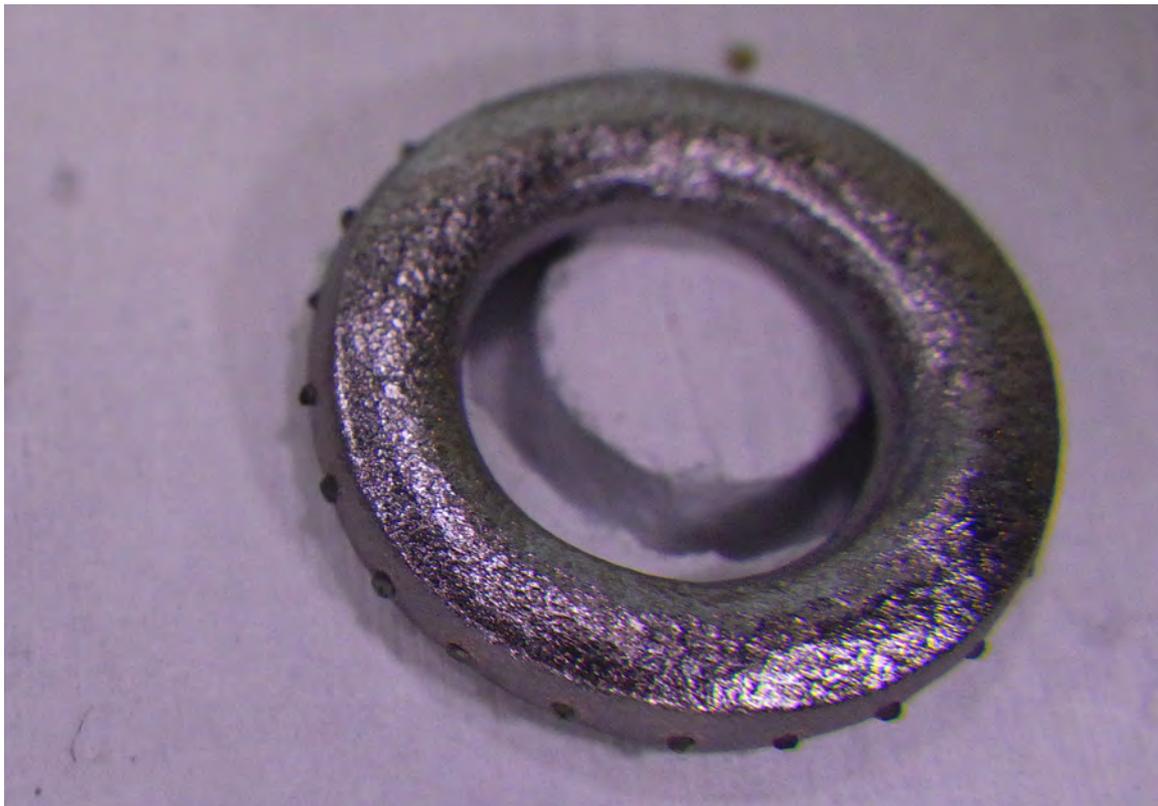


Abbildung 1: Einzelring mit CBN bestückt nach der Wärmebehandlung als Basis für die Tests zur Schleifkornanalyse und zur Bewertung der Rückhaltekraft der Bindungsmatrix. ©Fraunhofer IFAM

Weiterhin wurde der Wechsel an verfügbaren Basiswerkstoffen betrachtet und deren Risiken und Einflüsse auf eine Prozess- und Kostenstabilität evaluiert.

So wurden für die verschiedenen Legierungssysteme einzelne Komponenten durch Materialien anderer Lieferanten bei ähnlichen Spezifikationen substituiert und auch der Test weiterer CBN-Qualitäten gestartet. Zusätzlich zum Projektplan wurden auch Diamantwerkstoffe als

Schleifpartikel dem Projekt ergänzt, um sich hierdurch einer Vergleichbarkeit zu etablierten Einsatzseilen zu nähern. Durch die beim Projektpartner IFW Universität Hannover durchgeführten Tests konnte im Rahmen einer neuen Einzelkorn-Bewertungsmethode ein signifikantes Problem der CBN Werkstoffe ermittelt werden. So wurden trotz verschiedener Kornqualitäten nahezu gleiche Bruchverhalten ermittelt. Für diese Testmethode wurden einzelne Ringe mit einer Lage CBN-Korn mittels additiver Fertigung erzeugt, deren Kavitäten mit entsprechende CBN Körner gefüllt sind (Abbildung 1). Um einen Vergleich zu weiteren etablierten Schleifpartikeln herstellen zu können, sind in aktuell laufenden Arbeiten noch zusätzliche Schleifkörnungen mit eingebunden und sollen anschließend bewertet werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP3.4: Hier wird die Fertigung von Testperlen für die Erstellung von Schleifseilen fokussiert, welche für die weiteren Einsatz- und Validierungstest vorgesehen sind. Die Ergebnisse stellen hierbei die Grundlage für die in Arbeitspaket 4 zu erstellenden Schleifperlen dar.

AP4.1: Das Arbeitspaket dient zur Erstellung und Umsetzung von Seil-Schleifwerkzeuge für die Anwendungstests bei den beteiligten Projektpartnern. Bei diesem Arbeitspunkt geht es somit, neben der Erstellung von Testseilen, um weitere Prozessoptimierung als Basis für einen Datenpool für die anschließenden Kalkulationen einer Anwendungsumsetzung und deren Wirtschaftlichkeit.

AP5.1: Im Rahmen dieses Arbeitspunktes werden die Daten aus den vorangegangenen Versuchsreihen aufgenommen und diese in Kalkulationen, Berechnungen und Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit überführt, um die im Projekt betrachteten Bauteil- und Fertigungsansätze auf zusätzliche Einflüsse und Risiken sowie die Leistungsfähigkeit im Einsatzfeld zu bewerten.

AP5.2: Der Arbeitspunkt greift direkt die Daten aus dem Arbeitspunkt 5.1 als Basis auf und ermöglicht die Ableitung eines tragfähigen Wirtschaftlichkeitsmodells für solche Seilschleifwerkzeuge.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9429C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CEDIMA Diamantwerkzeug und Maschinenbaugesellschaft mbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Einfluss der Verwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung auf die im industriellen Rückbau verwendete Maschinentechologie	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 55.467,41 €
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.

Die Versuche ergaben keine zufriedenstellenden Ergebnisse mit den ausgewählten Bindungen und CBN.

AP 4: Die Testversuche mit kurzen Seilen wurden durchgeführt. In den Versuchen beim IFW konnte bislang keine Vergleichbarkeit zu derzeit marktüblichen Seilen erreicht werden. Nach Analyse der Versuche werden nun neue Bindungen und Schneidstoffe (beschichteter Diamant) in die Versuche einbezogen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

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. Das Simulationsmodell wird erweitert und erhält neue Parameter.

AP 3: Der Schneidstoff CBN wird durch titanbeschichteten Diamant in verschiedenen Größen ersetzt, um die Performance des entwickelten Werkzeuges deutlich zu steigern.

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

AP 5: Die maschinenseitigen Voraussetzungen für den praxisnahen Einsatz werden geschaffen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 1559429D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CCD Diamanttechnik	
Vorhabenbezeichnung: VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie, TP: 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 2023 hat CCD Diamanttechnik mehrere Vorhaben bei industriellen Auftraggebern umgesetzt, bei denen unter anderem Seilschleifmaschinen zum Einsatz kamen. Dabei wurden unter anderem Trennschnitte in Roheisenbären, unterschiedlich komplexe Stahlbetonstrukturen, Stahltanks und -platten sowie verschiedene Feuerfestmaterialien ausgeführt. Es konnten bisher nur konventionelle handelsübliche Seile verwendet werden, da Siebseile noch nicht in den erforderlichen Längen verfügbar waren.

Die gewonnenen Referenzdaten liefern Hinweise auf die Potentiale aber auch auf die aktuellen Grenzen des Seilschleifverfahrens. Letztere sind oft wirtschaftlicher Natur und stärken die Erwartung, durch Verbesserung der Werkzeuge und Weiterentwicklung der Maschinen weitere Aufgabengebiete für die Seilschleiftechnik zu erschließen. In vielen Bereichen des industriellen Rückbaus werden aktuell herkömmlichen „rustikalen“ Verfahren allein aus finanziellen Gründen der Vorzug gewährt, obschon die Auftraggeber eigentlich aus Arbeitsschutz- und Umweltaspekten für Alternativen offen sind.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Verfügbarkeit von Siebseilen in geeigneten Längen von mindestens 6,50m bis 20m steht bevor. Diese Seile werden dann zeitnah bei geeigneten Projekten zum Einsatz kommen.

Dafür stellt die Firma Cedima eine Antriebsmaschine zur Verfügung, die es ermöglicht, auch auf Baustellen während des Betriebes laufend mehrere Einsatz Parameter zu erfassen und zu dokumentieren.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Diverse Anwendungen der Seilschleiftechnik im industriellen Bereich

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9429E
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: DIABÜ-Diamantwerkzeuge Heinz Büttner GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Auslegung und Herstellung neuartiger Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schneidstoffanordnung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 72.706,62 €
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 weiterhin 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.

Die deterministischen Kornanordnungen wurden ausgewählt/festgelegt und am IFAM 3D-gedruckt. Zusätzlich wurden neue Recherchen für besser geeignete Bindungswerkstoffe durchgeführt. Im Juli 2023 wurden CBN Perlen mit 10 Lagen hergestellt und daraus Sägeseile für den Versuchsstand am IFW hergestellt.

Es wurden parallel weitere Versuche mit dem Ziel der Prozesssicherheit und Verfahrensoptimierung gemacht. Die Schneidkörner sitzen zwar besser gehalten aber immer noch zu locker in den gedruckten Kavitäten. Die Laboruntersuchungen mit dem Mikroskop zeigten, 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. Die Anpassung der Sinterparameter brachte bisher nur eine geringe Verbesserung der erzielten Gefügedichte. Durch zusätzliche Sintertests und Parameteroptimierungen im zweiten Halbjahr 2023 konnte die Matrixdichte gesteigert und verbessert werden.

Die Sintertemperatur wurde bei den Proben DC185 auf 1205°C erhöht, wodurch das Gefüge dichter gesintert wurde (mehr Flüssigphase). Bedingt durch die hohe Sintertemperatur und der auftretenden Flüssigphasen wurden die Diamanten der DC185 Proben sehr stark angegriffen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Die initiierten Versuche mit neuen Bindungsmaterialien, die bei tieferen Sintertemperaturen $\leq 900^\circ\text{C}$ mit Flüssigphasen die Schleifpartikel dichter umschließen, wurden weiterentwickelt. Das erste Prototypenseil mit der neuen Tieftemperaturmatrix wurde im Sägeeinsatz mit sehr positivem Ergebnis unter Produktionsbedingungen getestet. Durch den positivem Sägeeinsatz ist geplant die Bindung im 3D-Druck im Jan./Feb. 2024 zu verarbeiten. Aktuell liegt die Sintertemperatur nach zahlreichen Bindungsmixturen und Sinterversuchen mit Parameteroptimierung bei 850°C. Erstmals wurden verschiedene CBN Qualitäten mikroskopisch bei DIABÜ untersucht und verglichen.

AP2: Es wurden weitere Prototypen mit ausgewählten Setzmustern mit CBN und Diamant hergestellt, die Teile bei DIABÜ gesintert und daraus wieder 2,4 m lange Sägeseile für den Versuchsstand spritzgegossen.

AP3: Parallel hat DIABÜ weitere Prototypen mit einem bei DIABÜ neu entwickelten Setzmuster extern herstellen lassen, das auch auf dem Prüfstand vom IFW und in der Sägepraxis getestet werden soll.

Der Test des DIABÜ Setzmusters am IFW steht immer noch aus, da weiter an der Optimierung der Kavitätendichte gearbeitet wird.

Durch die Anpassung der Druckparameter (Höhe der Kavitäten), die Bindungszusammensetzung und die Sinterparameter konnte die Gefügedichte aktuell noch weiter erhöht werden.

Ein zusätzliches Seil zum Sägen von Hartgestein geht in die Testreihe, um die verbesserte Kornhaftung zu bestätigen. Der Test steht noch aus, weil die Schnittversuche mit einem Hybridseil aus CBN/Diamant sehr vielversprechend und überragend ausfielen und deshalb

vorgezogen wurden.

Das IFAM hatte eine weitere Schleifsegmentvariante mit 10 Lagen CBN und 5 Lagen Diamant gefertigt, die bei DIABÜ gesintert wurden. Die neuen 2,4 m Seil wurden im zweiten Halbjahr 2023 auf dem Prüfstand beim IFW getestet und anschließend mit dem Mikroskop untersucht. Es wurden viele Druck- und Oberflächenfehler auf den Perlen gefunden. Der Kornüberstand wurde als noch zu gering zum Schneiden mit besseren Absenkparametern bewertet. Außerdem wurde der Diamant durch die Sinterflüssigphase extrem stark beschädigt, was sich auch in der geringen Schnittleistung auf dem Versuchssägegestand zeigte.

AP4: 2 x 2,4 m 5 Lagen-Diamantseil wurden ebenfalls auf dem Analogieprüfstand zum Sägen von Stahl eingesetzt.

Das Schärfen der CBN- und Diamantseile ist kritisch. Die Perlen werden noch nicht optimal gleichmäßig rund geschärft, damit alle Schneidkörner am Umfang gleichmäßig herausstehen.

Um dieses Problem zu minimieren, wurden in einer ersten Analyse weitere Parameter eingekreist, die dafür verantwortlich sind, dass die theoretischen Setzmuster in der Praxis noch keinen signifikanten Unterschied in der Schnittleistung zu den konventionellen Sägeseielen zeigen.

Beispielbilder DIABÜ



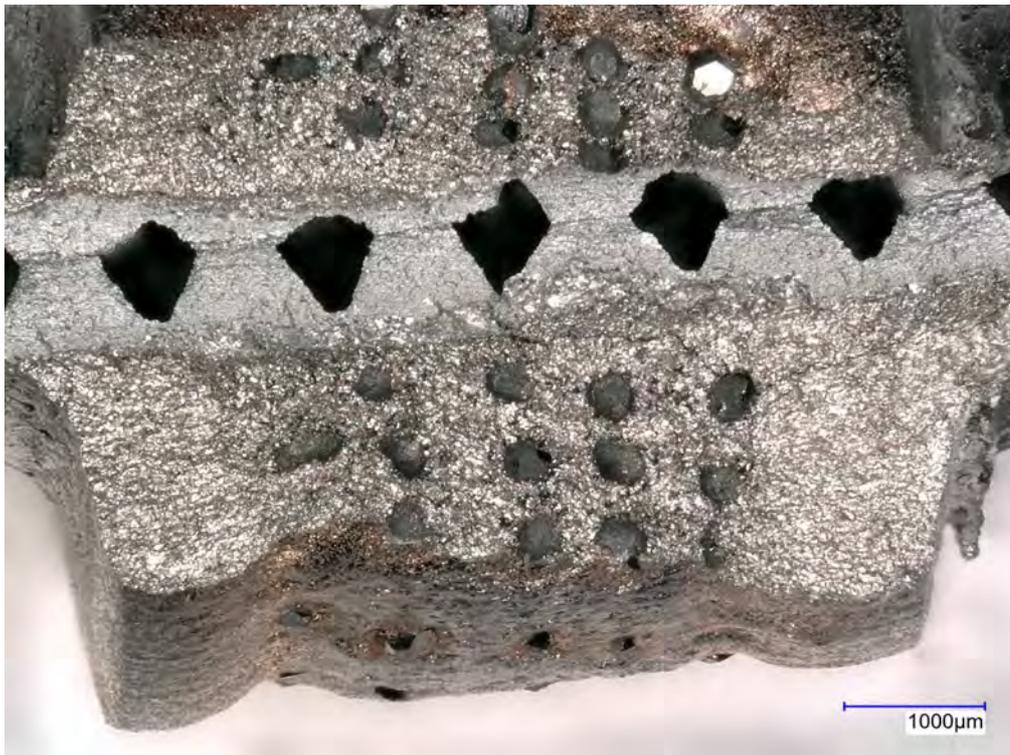
CBN DBN9



Qualitätsvergleich CBN diverse Hersteller



Gesinterte Diamantperle 1030°C FeCuP deformierte Geometrie



Bruchgefüge FeCuP 1030°C aufgelöster/beschädigter Diamant



Prototypenseile 10 Lagen CBN mit Schärfungsproblem (flach angeschärfte Perlen)

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9430A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Werkstoffkunde	
Vorhabenbezeichnung: 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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.182.335 €
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 Schneidaten durch mechanisierte Schneidversuche ermittelt. Die Verschleißergebnisse werden in Bezug zu der Schneidleistung diskutiert und hinsichtlich der Gesamtprozessleistung interpretiert. Basierend auf den so gewonnenen Erkenntnissen werden

Elektroden additiv gefertigt. Mittels eines draht-/pulverbasierten koaxialen Laserschweißprozesses werden Hartauftragungen in Umfangsrichtung auf einen Grundkörper aufgeschweißt. Durchgeführt wird dieser Fertigungsprozess an einem Roboterschweißplatz, wozu im Rahmen des Projektes eine Anlage installiert wird. Somit ist ein Werkstoffscreening hinsichtlich der Schneidwerkstoffe sowie ein quantitativer Überblick über das Potential der verfügbaren Schneidwerkstoffe möglich.

Damit zukünftig sichergestellt werden kann, dass die Planung der thermischen Zerlegung mit höchstmöglicher Sicherheit erfolgt, soll in Komplex B nach neuesten Erkenntnissen ein Prototyp eines Schneidgerätes entwickelt werden. Das Stromübertragungsmodul muss hierbei in Zusammenarbeit mit dem Partner EWN neu ausgelegt werden, um einen entsprechend hohen Leistungsbereich abdecken zu können. Bisherige Erfolge der Flüssigmetallstromübertragung werden genutzt und Gallium als nicht gefährdende Variante für den 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)

- Aufgrund der Ergebnisse in Arbeitspaket A/2 werden neben geeigneten Legierungen ebenfalls Verbundwerkstoffe betrachtet. Dazu wurden verschiedene Konzepte beispielsweise in Form von Teilchen-, Faser-, oder Schichtverbundwerkstoffen entwickelt und in Arbeitspaket A/3 getestet. Hier wurden die Versuche mit dem Fokus auf hochschmelzende Partikel weitergeführt. Wichtige Kennzahlen sind hier beispielsweise der Werkstoff der Matrix und der prozentuale Anteil der Partikelwerkstoffe. Je höher der Anteil an Partikeln, desto mehr hochschmelzendes und verschleißbeständiges Material besitzt die Elektrode. Dies ist vorteilhaft in Bezug auf die zu erreichende Schnittlänge. Es entstehen dadurch jedoch auch größere Herausforderungen beim Herstellungsprozess der Scheibe. Hier ist vor einem sinnvollen ökonomischen Hintergrund eine optimale Zusammensetzung zu ermitteln.
- Im Rahmen von Arbeitspaket A7 wurden die ersten Schritte für ein Werkstofffranking aufgestellt. Hierbei sind zuerst entsprechende Faktoren ermittelt worden, welche entscheidend für den Einsatz im nuklearen Rückbau sind. Neben den Beschaffungskosten der Materialien sind ebenfalls Aspekte wie die Eignung für das Laserauftragschweißen oder die Lichtbogenzündung im Schneidprozess relevant. Hierfür müssen im Idealfall quantifizierbare Größen gefunden werden.
- Der Aufbau und die Inbetriebnahme der Technikumsanlage erfolgt im Rahmen des Arbeitspakets B/5. In Bezug auf die Steigerung des TRL-Levels konnten bei der Einsatzdauer das Stromübertragungsmoduls deutliche Vorschritte verzeichnet werden. Durch den Einsatz von Werkstoffen, die nicht mit dem Gallium reagieren wie reines Kupfer oder Stahl ohne Legierungselemente wie z. B. Blei konnte die Betriebszeit mehr als vervierfacht werden. Eine weitere Steigerung des TRL-Levels stellt der modulare Aufbau dar, deren einzelne Komponenten mit Wartungs- und Instandsetzungsintervallen versehen werden, die es für einen ständigen betriebsbereiten Zustand einzuhalten gilt.
- Für das Arbeitspaket B/6 wurden von EWN 4 MockUp Typen gefertigt. Um realitätsnahe Trennvorgänge durchführen zu können wurden Kassettenkorbsegmente, Rohrstücke, Kernmantelsegmente und UKG Segmente gefertigt und nach Hannover geliefert um dort im Versuchsbecken des UWTH eingebaut zu werden.

- Im Arbeitspaket B/7 erfolgten Schneiduntersuchungen der in Komplex A hergestellten Elektroden. Es wurden Betriebsdaten ermittelt, um die Qualität und die Leistungsfähigkeit der additiv hergestellten Schneidwerkstoffe zu prüfen. Im Vergleich zu Elektroden die aus S355JR hergestellt wurden konnte das gezielte Beimischen von Wolframcarbid in den Elektrodenwerkstoff die Schneidleistung deutlich steigern und die Schnittlänge mehr als verdoppeln.
- Für das Arbeitstakt B/8 wurde mit dem Projektpartner EWN über die Schnittkosten gesprochen und festgelegt wie ein Vergleich mit bisher verwendeten Verfahren hergestellt werden kann. Dabei spielen die Betriebskosten der Anlage und aller verwendeter Medien neben den Verbrauchsmaterialien wie z. B. die Elektrode beim CAMG oder CAMC-Schneiden eine Rolle. Dazu kommen die Kosten für Wartung und Instandhaltung sowie die Personalkosten der Anlagenbediener. Gerechnet werden diese Kosten bezogen auf die Betriebszeit und die Schnittlänge abhängig von der Materialstärke.
- In Arbeitspaket C/1 wurde der aktuelle Stand der Gesamtdokumentation mit den neusten Erkenntnissen überarbeitet. Die Bearbeitung der Arbeitspakete aus dem Arbeitspaket Komplex C läuft parallel zu den anderen beiden Komplexen und wird ständig fortgeführt.
- Im Rahmen einer intensiven Zusammenarbeit mit EWN wurden erste Eckpunkte für ein Merkblatt im Rahmen des Arbeitspakets C2 erstellt, welche den direkten Einsatz der CAMG Technik als Rückbautechnik für Interventionen oder sogar für den direkten Einsatz beschreibt. Dabei wird auf wichtige Randbedingungen wie Einsatzmöglichkeiten, Leistungsspektrum, periphere Anforderungen oder Schneidscheiben eingegangen, um entsprechendes Wissen auch außerhalb des Projektes nutzen zu können.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Die Untersuchungen zu den Teilchenverbundwerkstoffen in den Arbeitspaketen A4 bis A6 werden fortgeführt. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf der Suche nach einem optimalen Anteil an Partikeln im Elektrodenwerkstoff. Es ist dabei abzuwägen, ab welchem Prozentsatz ein hoher Anteil hochschmelzender Partikel die Schweißbarkeit des Verbundwerkstoffes beeinträchtigt.
- Neben den sicherheitsrelevanten Aspekten ist der wichtigste Parameter für die industrielle Anwendung die Kosten pro Schnittmeter für eine Trenntechnologie im Rückbau. Vor einem möglichen Einsatz müssen jedoch auch weitere Punkte bewertet werden. Um diese materialbezogen darzustellen, wird das Werkstoffranking um weitere Faktoren ergänzt, welche im Versuchsbetrieb und im Austausch mit EWN als relevant eingestuft werden.
- Im Arbeitspaket A8 werden alle bisher gesammelten Daten vor dem Hintergrund einer ökonomischen Betrachtungsweise analysiert. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse soll dabei den Produktionszyklus der Scheiben möglichst umfassend darstellen. Dazu kann auf grundlegende wirtschaftswissenschaftliche Modelle zurückgegriffen werden. In Zusammenarbeit mit dem Komplex B können die für Anwender wichtigen Kennzahlen wie die Kosten pro Schnittmeter berechnet werden.
- Der Aufbau und die Inbetriebnahme der Technikumsanlage soll in dem Arbeitspaket B/5 erfolgen. Dazu wurden die 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 und fertiggestellt.
- Für den Einbau der MockUps in das Versuchsbecken des UWTH werden im Arbeitspaket B/6 Aufnahmen bzw. Stützen konstruiert und gebaut, um die teilweise über 100 kg schweren MockUps händeln zu können.
- Zur Steigerung des TRL-Levels sollen im Rahmen der Arbeitspakete B/6 bis B/8 Wasserstoffmessungen während des Schneidprozesses an der Wasseroberfläche

durchgeführt werden. Dazu soll eine Einweisung und die Inbetriebnahme des Messgerätes in Hannover durch einen Mitarbeiter von EWN erfolgen.

- Das abschließende Ziel von Arbeitspaket C1 ist die Zusammenführung der Ergebnisse aus A/8 und B/8. Dazu wird die bisher erstellte Dokumentation umfassend erweitert, wobei die gegenseitigen Einflüsse von Anlage auf Schneidscheibe und umgekehrt tiefgehend betrachtet werden. Die Funktionen der Technologie werden mit starkem Bezug zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung abgebildet und beschrieben.
- In Zusammenarbeit mit EWN soll im Arbeitspaket C2 das Merkblatt erweitert werden, um eine abschließende Version zu entwickeln. Dazu gehört insbesondere die Abschätzung des Technology Readiness Levels (TRL), welcher ein zentraler Punkt in diesem Projekt ist.
- Im Arbeitspaket C3 wird abschließend zusammengefasst, welche Anwendungsprofile am Markt bestehen, um die Technik als Alternativtechnik zur Intervention beim Ausfall der primären UW-Schneidtechniken in den Rückbauprozess einzusetzen. Auf dieser Grundlage wird die Genehmigungsfähigkeit im Rahmen der Prüfung von Angebotsunterlagen zum Rückbau von Kernkraftwerken diskutiert. Ziel ist es, dem Anwender Kriterien und Argumente an die Hand zu geben, um die Funktionsfähigkeit dieser Projektentwicklungen sicher und überzeugend darzustellen.

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: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9430B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH	
Vorhabenbezeichnung: 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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 105.018,63 €
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 mit 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 noch nicht ausreichend für die Anwendung vorhanden sind.

Die Durchführung des Projektes gliedert sich in drei Komplexe. In 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 zur Schneidleistung diskutiert und hinsichtlich der Gesamtprozessleistung interpretiert. Basierend auf den so gewonnenen Erkenntnissen werden Elektroden additiv gefertigt. Mittels eines draht-/pulverbasierten coaxialen 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 in 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)

Weiterführend zu den Ergebnissen aus Arbeitspaket A/2 und A8 werden neben geeigneten Verbundwerkstoffen, auch der wirtschaftliche Aspekt zur Ausführung und Verwendung einer Gesamtanlage betrachtet. Dazu wurden verschiedene Konzepte beispielsweise in Form von Teilchen-, Faser-, oder Schichtverbundwerkstoffen betrachtet, gemäß dem Arbeitspaket A/3 getestet und eine wirtschaftliche Gesamtausführung, zur weiteren Bewertung angestrebt.

In Zusammenarbeit mit der UWTH wurden Einzelergebnisse gemäß den vorliegenden Erkenntnissen in Einzelbetrachtungen, wie grundlegender Werkstoffkriterien zur konstruktiven Ausführung der Schneidelektrode analysiert und als weiterer Planungsansatz final untersucht.

Im Arbeitspaket A7 wurden die weiteren Schritte für ein optimales Werkstofffranking aufgestellt. Hierbei wurden weitere Faktoren ermittelt, welche entscheidend für den Einsatz im nuklearen Rückbau sind. Neben den Beschaffungskosten der Materialien sind ebenfalls Aspekte wie die Eignung für das Laserauftragsschweißen oder die Lichtbogenzündung im Schneidprozess relevant.

Mit dem Aufbau und der vorläufigen Inbetriebnahme der Technikumsanlage im Arbeitspaket B/5, konnten weitere Schritte zur Steigerung des TRL-Levels bei der Einsatzdauer des Stromübertragungsmoduls erreicht werden. Dieser Einsatz von Werkstoffen, die nicht mit dem Gallium reagieren, zeigen bei reinem Kupfer oder Stahl (ohne Legierungselemente) eine stabile Betriebszeit und bilden somit einen wichtigen Faktor bzgl. der notwendigen Einsatzzeiten. Eine weitere Steigerung des TRL-Levels stellt der modulare Aufbau der Anlage dar, deren einzelne Komponenten mit entsprechenden Wartungs- und Instandsetzungsintervallen versehen sind, die es für einen ständigen betriebsbereiten Zustand einzuhalten gilt.

Im Rahmen der nachhaltigen Ergebnisoptimierung wurden weitere Erprobungen und Machbarkeitsprüfungen an den modellierten Komponentenstrukturen (gefertigte Konstruktionsdetails als MockUp) in der engen Zusammenarbeit zwischen der UWTH und EWN gemäß dem Arbeitspaket B/6 durchgeführt und entsprechend bewertet.

Dazu gehören u. a. die im Arbeitspaket B/7 erfolgten Schneiduntersuchungen der in Komplex A hergestellten Elektroden. Es wurden Betriebsdaten ermittelt, um die Qualität sowie die Leistungsfähigkeit der additiv hergestellten Schneidwerkstoffe zu prüfen.

Beispielhaft konnte im Vergleich der Elektrodenwerkstoffe durch das gezielte Beimischen von Wolframcarbide in den Elektrodenwerkstoffen die Schneidleistung deutlich gesteigert und die Standzeit bzw. Schnittlänge mehr als verdoppelt werden.

Für das Arbeitstakt B/8 sind dazu die anzusetzenden Schnittkosten festgelegt worden, die im Vergleich mit bisher gleichgearteten Verfahren hergestellt werden können. Dabei spielen die Betriebskosten der Anlage und aller verwendeter Verbrauchswerkstoffe einschl. benötigter Medienbedarfe eine sehr wichtige Rolle. Dazu kommen die Kosten für Wartung und Instandhaltung sowie die Personalkosten der Anlagenbediener. Gerechnet werden diese Kosten bezogen auf die Betriebszeit und die Standzeit pro Schnittlänge, in Abhängigkeit von der Materialstärke.

Im Rahmen einer intensiven Zusammenarbeit im Projektteam UWTH/EWN wurden erste Eckpunkte für ein Merkblatt im Rahmen des Arbeitspakets C2 erstellt, welche den direkten Einsatz der CAMG-Technik als Rückbautechnik für Interventionen oder sogar für den direkten Einsatz beschreibt. Dabei wird auf wichtige Randbedingungen wie Einsatzmöglichkeiten, Leistungsspektrum, periphere Anforderungen oder Schnittgeometrie eingegangen, um entsprechendes Wissen auch außerhalb des Projektes nutzen zu können.

In Arbeitspaket C/1 wurde der aktuelle Stand der Gesamtdokumentation mit den neuesten Erkenntnissen überarbeitet. Die Bearbeitung der Arbeitspakete aus dem Arbeitspaket Komplex C läuft parallel zu den anderen beiden Komplexen und wird ständig fortgeführt.

In Arbeitspaket C/3 werden die aktuellen Randbedingungen zur Dosisleistungsbetrachtung der durchzuführenden Tätigkeiten sowie der Gesamtdokumentation mit den gewonnenen Erkenntnissen der Gerätekonfiguration verglichen, entsprechend bewertet und zur weiteren

Verwendung charakterisiert. Die Bearbeitung des Arbeitspaketes C/3 wird fortlaufend zu den Paralleltätigkeiten der Arbeitspakete A/B ausgeführt.

Begleitend wird temporär die Erstellung der Vorprüfunterlage (VPU), im Rahmen des aufsichtlichen Genehmigungsverfahrens, für den Einsatz der Technischen Dokumentation „CAMG-Anlage“ fortgeschrieben und aktualisiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Vorstellung der Erprobungsergebnisse im Rahmen des Arbeitspakets A/6 mit den weiterführenden Forschungsergebnissen der Testscheiben, auf Basis der metallurgischen Anteile von Zusatz- und Legierungswerkstoffen.
- Im Arbeitspaket A8 werden alle bisher gesammelten Daten vor dem Hintergrund einer ökonomischen Betrachtungsweise analysiert. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse soll dabei den Produktionszyklus der Scheiben möglichst umfassend darstellen. Dazu kann auf grundlegende wirtschaftswissenschaftliche Modelle zurückgegriffen werden. In Zusammenarbeit mit dem Komplex B können die für Anwender wichtigen Kennzahlen wie die Kosten pro Schnittmeter berechnet werden.
- Für den spezifizierten Aufbau der Technikumsanlage (Arbeitspaket B/5) werden die gefertigten Bauteile gemäß den Arbeitspaketen B/2 und B/3 mit den Kauf- und Normteilen einschl. Baugruppen modifiziert und einzeln auf ihre Funktionsweise geprüft. Dies wird je nach Fertigungsstand fortlaufend weitergeführt.
- Zum weiteren Einbau der Mockups in das Versuchsbecken des UWTH werden anlehnend an das Arbeitspaket B/6 zusätzliche Aufnahmen bzw. Stützen konstruiert und gebaut, um die teilweise über 100 kg schweren MockUps händeln zu können.
- Zur Steigerung des TRL-Levels sind im Rahmen der Arbeitspakete B/6 bis B/8 Wasserstoffmessungen während des Schneidprozesses an der Wasseroberfläche auszuführen. Dazu wird eine geeignete Gerätebeistellung, Einweisung und Inbetriebnahme des Wasserstoffmessgerätes durch einen geschulten EWN-Mitarbeiter sichergestellt und am Verwendungsort im UWTH durchgeführt.
- Das abschließende Ziel von Arbeitspaket C1 ist die Zusammenführung der Ergebnisse aus A/8 und B/8. Dazu wird die bisher erstellte Dokumentation umfassend erweitert, wobei die gegenseitigen Einflüsse von Anlage auf Schneidscheibe und umgekehrt tiefgehend betrachtet werden. Die Funktionen der Technologie werden mit starkem Bezug zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung abgebildet und beschrieben.
- In Zusammenarbeit wird im Arbeitspaket C2 das Merkblatt erweitert werden, um eine abschließende Version zu entwickeln. Dazu gehört insbesondere die Abschätzung des TRL, welcher ein zentraler Punkt in diesem Projekt darstellt.
- Im Arbeitspaket C3 ist zu bewerten, welche Anwendungsprofile am Markt bestehen, um die Technik als Alternativtechnik zur Intervention beim Ausfall der primären UW-Schneidtechniken in den Rückbauprozess einzusetzen. Auf dieser Grundlage wird die Genehmigungsfähigkeit im Rahmen der Prüfung von Angebotsunterlagen zum Rückbau von Reaktoreinbauten diskutiert.
- Als Zielstellung gilt hierbei, die Einsatz- und Funktionsfähigkeit dieser Projektentwicklung gegenüber den behördlichen Gutachtern und Betreibern überzeugend darzulegen.

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: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9434A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden, 01062 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA), TP: Entwicklung von Werkzeugen zur 1n-Situ-Analyse von Betoneigenschaften, Radionukliden und hydraulischer Lochzu-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 Bohrkern für eine Analytik zur Verfügung stehen, müssen neue Mess- und Analysetechniken entwickelt werden. Im Verbundvorhaben werden Mess- und Analyseverfahren entwickelt, mit denen es möglich ist, in-situ das Vorhandensein von Kontaminationen, deren Lage im Beton, deren Nuklidvektor, lokale Feuchte und Porosität der Betonmatrix sowie die Präsenz von Borverbindungen zu ermitteln. Für die hydraulische Permeabilität zwischen den Bohrungen werden Modellierungswerkzeuge entwickelt und angewendet. Weiterhin wird ein Konzept zur elektronischen Dokumentation von Daten aus Rückbauprojekten erarbeitet, welches für zukünftige Rückbauprojekte nutzbar ist.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

AP 2: Entwicklung einer Methodik zur Betonbeprobung durch einen laserbasierten Betonabtrag an Bohrlochwand, pneumatischem Austrag des Aerosols und In-Situ-Analyse der Radionuklide und Bor:

- Vergleich verschiedener Abtragverfahren,
- Entwicklung einer Sonde zur Probennahme in Betonrohren,
- Abscheidung des Probenahmegutes,
- Analyse des Betonabtrags als Funktion der Abtragstiefe im Bohrloch,
- Vergleichsmessungen an realen Strukturen.

AP 3: Entwicklung eines Messverfahrens zur Ermittlung der Loch-zu-Loch-Permeabilität mittels Tracergas:

- Konzepte zur Messung der hydraulischen Durchlassfähigkeit von Arbeitsfugen,
- Permeationsversuche im Labormaßstab,
- Realmaßstäbliche Versuche im KKS,
- Analytische Modellierung und Vorhersagemodell für die Durchlassfähigkeit vorgefundener Betonstrukturen.

AP 4: Kartierung, elektronische Dokumentation, Beprobungsplanung, Wissensmanagement:

- Entwicklung eines Softwaremoduls zur Befundvisualisierung,
- Elektronische Dokumentation,
- Systematische Dokumentation informellen Rückbauwissens,
- Übertragung der Ergebnisse auf weitere Rückbauvorhaben.

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

AP 1: Um den Feuchtegehalt in den engen Bohrlöchern im Beton zu bestimmen, wurden im zurückliegenden Projektzeitraum zum einen die Arbeiten zur elektrischen Impedanzspektroskopie (EIS) weiter vorangetrieben und zum anderen wurden zunächst theoretische Untersuchungen und Simulationsrechnungen für die Applikation der Radar- bzw. Mikrowellentechnik durchgeführt. Die vergleichenden Untersuchungen verschiedener Betonproben sowohl von realen direkt aus dem Kernkraftwerk Unterweser (KKU) stammenden Bohrkernen als auch von TUD-IfB reproduzierte Betonproben, welche identische Stoffwerte und Morphologien (Zement, Sand, Korngrößen, Zuschlagstoffe) wie der Beton aus dem KKU aufweisen (Replikate), wurden erfolgreich abgeschlossen. Dabei wurden experimentelle Arbeiten mit Simulationsrechnungen in COMSOL®-Multiphysics verglichen. Sowohl die theoretischen als auch die experimentellen Ergebnisse lieferten sehr vielversprechende Ergebnisse bei der Bestimmung des (Massen-)Feuchtigkeitsgehaltes im Beton mit einer Restunsicherheit von kleiner 5%. Allerdings trifft dies auf geschliffene Oberflächen zu. Um die dynamische Morphologie der Betonoberfläche (Zement, Sand, Korngrößen, Zuschlagstoffe) zu verstehen, wurde eine spezielle Bohrkronen beschafft, welche in Betonproben das Einbringen realitätsnaher Bohrlöcher mit entsprechender Oberflächenmorphologie ermöglicht. Hieran sollen weitere Untersuchungen zum Nachweis der Feuchtigkeit mit speziellen Federkontaktelektroden durchgeführt werden. Dieses Federelektrodensystem ist in der Lage, sich gut an die rauen Grenzflächen der Betonoberflächen anzuschmiegen. Leider sind dadurch die Kontaktflächen um ein Vielfaches geringer als bei Flächenelektroden. Hierdurch erhöht sich die zu messende Impedanz erheblich. Es ist zu überprüfen, ob der Signal-Rauschabstand dennoch ausreicht, um eine Messgenauigkeit von ca. 5% einzuhalten. Daher ist nach der Analyse der experimentellen Ergebnisse der EIS mit speziellen Federkontaktelektroden die optimale Elektrodengeometrie für das endgültige Lanzendesign zu bestimmen. Erste Probebohrungen mit schlankem Durchmesser von 28 mm ins Volle wurden von PreussenElektra an bereits freigemessenen Klötzen außerhalb des Kontrollbereichs durchgeführt. Die Bohrungen wurden so platziert, dass große Armierungs-Eisen absichtlich "getroffen" wurden. Die Probebohrungen waren vielversprechend, nichtsdestotrotz

wird erwogen, Lanzen mit zwei Durchmessern (DN28, DN52) zu entwickeln, falls final doch auf die Bohrkronen ausgewichen werden muss.

Darüber hinaus wurde im Anschluss an die Literaturrecherche mit der Arbeit an der Radartechnologie begonnen. Die Simulation mit COMSOL® Multiphysics wird in Zusammenarbeit mit Partnern und Kollegen des KIT (Karlsruhe Institut für Technologie) entwickelt. Um den Feuchtigkeitsgehalt im Beton mittels Radartechnik zu bestimmen, wurden zwei verschiedene Anregungsarten simuliert: Dauerstrichradar und Kurzwellenimpulse. Die ersten Ergebnisse der Betonsimulation von hochfrequenten Reflexionskoeffizienten wie dem s-Parameter lieferten vielversprechende Ergebnisse und erfordern weitere Untersuchungen, bevor mit den Experimenten fortgefahren werden kann.

Von TUD-IKTP wurden bisherige Ergebnisse zur Entwicklung einer Sonde zum Nachweis radioaktiver Kontaminationen auf der KONTEC Konferenz in einem Plenarvortrag im August präsentiert. Die am IKTP entwickelte Sonde wurde weiterhin auf Praxistauglichkeit geprüft. Im Rahmen einer weiteren Messkampagne im KKU wurden Messungen innerhalb des Containments an verschiedenen Bohrlöchern im Bereich der Kalotte durchgeführt. Dabei wurden Bohrlöcher gamma-spektroskopisch untersucht. Es ist gelungen, Strahlungsquellen zu lokalisieren und nachzuweisen, die auch hinsichtlich ihrer Aktivität und primären Nuklidzusammensetzung charakterisiert werden konnten. Eine Abschätzung der spezifischen Aktivität erfolgte. Ein Tiefenprofil der applizierten Dosisleistung wurde erfolgreich mittels passiver OSL-Dosimeter in einem Bohrloch aufgenommen. Durch die Kombination der Informationen beider Messinstrumente konnte ein umfassenderes Bild der vorliegenden Aktivitätsverteilung gewonnen werden. Weiterhin wurden die passiven OSL-Dosimeter in dünnen Bohrlöchern in freigegebenen Betonblöcken am Kernkraftwerksstandort Stade getestet, wodurch Informationen über den Strahlungsuntergrund von Beton gewonnen werden konnten.

AP 2: Im Berichtszeitraum wurden Parameterstudien zur Maximierung der Abscheidungsrate von ablatiertem Material im Versuchsstand durchgeführt. Die maximal erzielte Abtragsrate von $0,12 \text{ mg}\cdot\text{mm}^{-2}$ wurde bei einem Laserstrahldurchmesser von 4,5 mm erreicht. Ein nicht unerheblicher, aber noch nicht näher bestimmbarer Teil des Abtrags stammt von Abplatzungen der im Probenmaterial enthaltenen Zuschlagstoffe.

Simulationen der Strömungsverhältnisse im Bohrloch haben gezeigt, dass die Flussrate der Druckluft, welche zur Kühlung des Parabolspiegels eingesetzt werden soll, nur geringfügige Auswirkungen auf die Effizienz des Abtransports der vom Laser ablatierten Partikel hat. Die Absaugleistung, die mit der zur Verwendung geplanten Vakuumpumpe erreicht werden kann, erlaubt die effiziente Abscheidung von Partikeln mit einem Durchmesser von bis zu $25 \mu\text{m}$.

Eine zweite Testreihe wurde gestartet, in welcher der Einfluss verschiedener Parameter auf die gezielte Aufschmelzung von Matrixmaterial und damit verbunden, die Erzeugung von Mikropartikeln, untersucht wird.

AP 3: Die Vorbereitung von Proben für Transportmechanismusexperimente ist im Gange. Mit der ermittelten Zusammensetzung aus KKU-Beton wurden Probekörper mit Fugen gegossen, die eine Zeitpause von 64, 40, 16 und 2 Stunden im Bauprozess darstellen. Bohrkerne werden aus diesen Blöcken entnommen, die Kanten parallel geschnitten und geschliffen, um glatte Oberflächen für die Permeabilitätsexperimente zu schaffen. Die so erhaltenen Probekörper werden vor dem Test konditioniert.

AP 4: Bei TUD-PBM wurde in AP 4 ein Konverter entwickelt, um die bereitgestellten Probennahmedaten in eine relationale Datenbank zu überführen. Ursprünglich lagen diese

tabellarischen Daten als Excel-Dateien vor. Ein speziell entwickeltes Skript extrahiert diese Datensätze und integriert sie in das zuvor entwickelte Datenbankschema, wobei eine entsprechende Datennormalisierung durchgeführt wird. Zusätzlich wurde der von PEL bereitgestellte CAD-Datensatz des KKU konvertiert und zur Darstellung im Visualisierungs-Tool importiert. Hierbei können Ansichten und Schnitte flexibel ausgewählt werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1: Um die Feuchtigkeit in der realen Betonprobe zu detektieren, werden die experimentellen Arbeiten mit Radartechniken durchgeführt, um die mit COMSOL®-Multiphysics generierten Simulationsergebnisse mit dem Kooperationspartner am KIT (Karlsruher Institut für Technologie) zu analysieren und zu validieren. Sowohl für die EIS als auch die Radartechnik sind geeignete Probenköpfe aufzubauen. Schließlich ist geplant, die Ergebnisse der EIS- (Niederfrequenz) und der Mikrowellenradarmethode (Hochfrequenz) zu vergleichen, um die optimale Technik für den Feuchtigkeitsnachweis in Beton zu finden.

Bei TUD-IKTP sind weitere Messungen im KKU für das Frühjahr 2024 angedacht. Weitere Optimierungen des Messaufbaus zur vereinfachten Bedienung der Datennahme unter den speziellen Bedingungen eines Kontrollbereichs eines Kernkraftwerks sollen durchgeführt werden. Die Analyse der im September durchgeführten Messkampagne im KKU gewonnenen Daten wird fortgesetzt.

AP 2: Für das 1. Halbjahr 2024 ist geplant, einen ersten Prototypen der geplanten Sonde zu konstruieren und Abtragsversuche in Bohrloch-Dummys durchzuführen. Weiterhin werden die Untersuchungen zur Maximierung der Ablationseffizienz vorangetrieben.

Erste Untersuchungen zur Nutzung von Laser-induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) für die Detektion von Borverbindungen in Beton sind für das Frühjahr 2024 geplant.

AP 3: Der Beton, der die Betoneigenschaften am KKU repräsentiert, ist für den Labormaßstab gegossen worden (Replikat), um die Transporteigenschaften zu untersuchen. Es werden umfangreiche Experimente durchgeführt, um die Probekörper auf Permeabilität, Sorption und Diffusion zu testen. Zur Durchlässigkeitsprüfung werden die Proben von einer Seite aus einem Gasdruck ausgesetzt und der Durchfluss wird aufgezeichnet. Sorptionsexperimente werden durchgeführt, indem eine Seite der Proben in verschiedene Flüssigkeiten getaucht wird. Zur Diffusion wird künstlich kontaminiertes Wasser für einige Zeit auf der Oberfläche der Proben belassen und die Konzentrationen werden in der Tiefe aufgezeichnet.

AP 4: Für den weiteren Projektverlauf ist geplant, die exakten Positionen der Probeentnahmestellen in die dargestellte Geometrie des Visualisierungstools zu integrieren. Bisher waren diese Informationen nur unzureichend verfügbar. Die Lokalisationsdaten, von DNS gesammelt, werden entsprechend in den relationalen Datenbestand aufgenommen. Diese Konvertierung erfolgt analog zur Umwandlung der Probeentnahmedaten.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bertram, W.; Hampel, U.; Anthofer, A.; Dirk Döhler, D.; Herrmann, M.; Jansen, S.; Kahle, P.; Kormoll, T.; Kosowski, K.; Lösch, H.; Mechtcherine, V.; Nurjahan, T.; Rauf, A.; Reinecke, A.-M.; Schleicher, E.; Schröfl, C.; Werner, T., Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonstrukturen im Sicherheitsbehälter von Druckwasserreaktoren während des Kraftwerksrückbaus (KOBKA), KONTEC 2023: Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“, 30.08.-01.09.2023, Dresden.

Döhler, D. et al., Radiation Sensor for In-situ Clearance Measurement of Potentially Contaminated Concrete Structures in Boreholes in Nuclear Facilities, KONTEC 2023: Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“, 30.08.-01.09.2023, Dresden.

Hampel, U., Forschung für den Rückbau von Kernkraftwerken: Das Projekt KOBKA, 55. Kraftwerkstechnisches Kolloquium (Vortrag), 10.-11.10.2023, Dresden.

Nurjahan, T. et al., AC impedance spectroscopy to characterize the dielectric material properties in concrete during decommissioning of nuclear power plants, 98th IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), 15.-19.10.2023, East Rutherford, NJ, USA.

Nurjahan, T. et al., Investigation of complex electrical properties of concrete during decommissioning of nuclear power plants: An experimental analysis, 16th IEEE International Workshop on Impedance Spectroscopy (IWIS), 26.-29.09.2023, Chemnitz.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9434B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., D-01328 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus, TP: 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)

Kontaminierte Betonprobekörper in PE-Röhren wurden mit vier verschiedenen Nukliden im Bereich von 1 MBq hergestellt und sollen nun an die Projektpartner geliefert werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Messung und Auswertung von Abtragsproben vom Projektpartner WKET sowie Evaluierung der Nachweisgrenzen bezüglich der Einsatzfähigkeit des Abtragverfahrens. Zum Einsatz kommen hier Low-Level-Gammamessplätze.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

noch keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 30.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9434C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: PreussenElektra GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA), TP: 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. Ein Sachverhalt, der unter zutreffenden Voraussetzungen auch andere kerntechnische Anlagen in Deutschland oder weltweit betreffen kann. 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 Bohrkern 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 und Erprobung der Messlanze
- Erprobung der Technik im Feld (Kernkraftwerk Stade) und Bewertung
- Iterative Verbesserung der Empfindlichkeit und räumlichen Auflösung des Messverfahrens

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

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

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

AP 1: Im zurückliegenden Projektzeitraum wurden durch den Projektpartner TUD-PBM zum einen die Untersuchungen zu verschiedenen Elektroden-Geometrien zur Bestimmung von Feuchtigkeit und Porosität mittels elektrischer Impedanzspektroskopie (EIS) in engen Bohrlöchern in Beton weiter vorangetrieben. Zum anderen wurden theoretische Untersuchungen und Simulationsrechnungen für die Applikation der Radar- bzw. Mikrowellentechnik durchgeführt. Um die Simulationsergebnisse zu verifizieren, wurden umfangreiche Experimente unter Variation des Feuchtigkeitsgehaltes durchgeführt. Die vergleichenden Untersuchungen verschiedener Betonproben sowohl von realen direkt aus dem Kernkraftwerk Unterweser (KKU) stammenden Bohrkernen als auch von TUD-IfB reproduzierte Betonproben, welche identische Stoffwerte und Morphologien (Zement, Sand, Korngrößen, Zuschlagstoffe) wie der Beton aus dem KKU aufweisen, wurden erfolgreich abgeschlossen. Dabei wurden experimentelle Arbeiten mit Simulationsrechnungen in COMSOL®-Multiphysics verglichen. Sowohl die theoretischen als auch die experimentellen Ergebnisse lieferten sehr vielversprechende Ergebnisse bei der Bestimmung des (Massen-)Feuchtigkeitsgehaltes im Beton mit einer Restunsicherheit von kleiner 5%. Allerdings trifft dies auf geschliffene Oberflächen zu. Hieran sollen weitere Untersuchungen zum Nachweis der Feuchtigkeit mit speziellen Federkontaktelektroden durchgeführt werden.

Die Experimente liefen bisher im Labormaßstab. Eine Bewertung der Technik hinsichtlich Nachweisbarkeit und Handhabbarkeit und Berücksichtigung der Untergrundstrahlung soll demnächst auch am Kraftwerksstandort erfolgen. Da es sich bei dem Feldtest zunächst lediglich um eine Handhabbarkeit handelt, sollen experimentelle Untersuchungen aus radiologischen Gründen gemäß ALARA-Prinzip (*As Low As Reasonably Achievable*) vorerst nicht an der Kalotte im Gebäudesumpf des Kernkraftwerks durchgeführt werden. Erste Probebohrungen mit

schlankem Durchmesser von 28 mm ins Volle wurden von PreussenElektra an bereits freigemessenen Klötzen außerhalb des Kontrollbereichs durchgeführt. Die Bohrungen wurden so platziert, dass große Armierungs-Eisen absichtlich “getroffen“ wurden. Die Probebohrungen waren vielversprechend, nichtsdestotrotz wird erwogen, Lanzen mit zwei Durchmessern (DN28, DN52) zu entwickeln, falls final doch auf die Bohrkronen ausgewichen werden muss.

Von TUD-IKTP wurden bisherige Ergebnisse zur Entwicklung einer Sonde zum Nachweis radioaktiver Kontaminationen auf der KONTEC Konferenz in einem Plenarvortrag im August präsentiert. Die am IKTP entwickelte Sonde wurde weiterhin auf Praxistauglichkeit geprüft. Im Rahmen einer weiteren Messkampagne im KKK wurden Messungen innerhalb des Containments an verschiedenen Bohrlöchern im Bereich der Kalotte durchgeführt. Dabei wurden Bohrlöcher gamma-spektroskopisch untersucht. Es ist gelungen, Strahlungsquellen zu lokalisieren und nachzuweisen, die auch hinsichtlich ihrer Aktivität und primären Nuklidzusammensetzung charakterisiert werden konnten. Eine Abschätzung der spezifischen Aktivität erfolgte. Ein Tiefenprofil der applizierten Dosisleistung wurde erfolgreich mittels passiver OSL-Dosimeter in einem Bohrloch aufgenommen. Durch die Kombination der Informationen beider Messinstrumente konnte ein umfassenderes Bild der vorliegenden Aktivitätsverteilung gewonnen werden. Weiterhin wurden die passiven OSL-Dosimeter in dünnen Bohrlöchern in freigegebenen Betonblöcken am Kernkraftwerksstandort Stade getestet, wodurch Informationen über den Strahlungsuntergrund von Beton gewonnen werden konnten.

AP 3: Die Vorbereitung von Proben für Transportmechanismusexperimente ist im Gange. Mit der ermittelten Zusammensetzung aus KKK-Beton wurden Probekörper mit Fugen gegossen, die eine Zeitpause von 64, 40, 16 und 2 Stunden im Bauprozess darstellen. Bohrkerns werden aus diesen Blöcken entnommen, die Kanten parallel geschnitten und geschliffen, um glatte Oberflächen für die Permeabilitätsexperimente zu schaffen. Die so erhaltenen Probekörper werden vor dem Test konditioniert.

AP 4: Bei TUD-PBM wurde in AP 4 ein Konverter entwickelt, um die bereitgestellten Probennahmedaten in eine relationale Datenbank zu überführen. Ursprünglich lagen diese tabellarischen Daten als Excel-Dateien vor. Ein speziell entwickeltes Skript extrahiert diese Datensätze und integriert sie in das zuvor entwickelte Datenbankschema, wobei eine entsprechende Datennormalisierung durchgeführt wird. Zusätzlich wurde der von PreussenElektra bereitgestellte CAD-Datensatz des KKK konvertiert und zur Darstellung im Visualisierungs-Tool importiert. Hierbei können Ansichten und Schnitte flexibel ausgewählt werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1: Um die Feuchtigkeit in der realen Betonprobe zu detektieren, werden die experimentellen Arbeiten mit Radartechniken durchgeführt, um die mit COMSOL®-Multiphysics generierten Simulationsergebnisse mit dem Kooperationspartner am KIT (Karlsruher Institut für Technologie) zu analysieren und zu validieren. Sowohl für die EIS als auch die Radartechnik sind geeignete Probenköpfe aufzubauen. Schließlich ist geplant, die Ergebnisse der EIS- (Niederfrequenz) und der Mikrowellenradarmethode (Hochfrequenz) zu vergleichen, um die optimale Technik für den Feuchtigkeitsnachweis in Beton zu finden.

Bei TUD-IKTP sind weitere Messungen im KKK für das Frühjahr 2024 angedacht. Weitere Optimierungen des Messaufbaus zur vereinfachten Bedienung der Datennahme unter den speziellen Bedingungen eines Kontrollbereichs eines Kernkraftwerks sollen durchgeführt werden.

Die Analyse der im September durchgeführten Messkampagne im KGU gewonnenen Daten wird fortgesetzt.

AP 3: Der Beton, der die Betoneigenschaften am KGU repräsentiert, ist für den Labormaßstab gegossen worden (Replikat), um die Transporteigenschaften zu untersuchen. Es werden umfangreiche Experimente durchgeführt, um die Probekörper auf Permeabilität, Sorption und Diffusion zu testen. Zur Durchlässigkeitsprüfung werden die Proben von einer Seite aus einem Gasdruck ausgesetzt und der Durchfluss wird aufgezeichnet. Sorptionsexperimente werden durchgeführt, indem eine Seite der Proben in verschiedene Flüssigkeiten getaucht wird. Zur Diffusion wird künstlich kontaminiertes Wasser für einige Zeit auf der Oberfläche der Proben belassen und die Konzentrationen werden in der Tiefe aufgezeichnet.

AP 4: Für den weiteren Projektverlauf ist geplant, die exakten Positionen der Probeentnahmestellen in die dargestellte Geometrie des Visualisierungstools zu integrieren. Bisher waren diese Informationen nur unzureichend verfügbar. Die Lokalisationsdaten, von DNS gesammelt, werden entsprechend in den relationalen Datenbestand aufgenommen. Diese Konvertierung erfolgt analog zur Umwandlung der Probeentnahmedaten.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bertram, W.; Hampel, U.; Anthofer, A.; Dirk Döhler, D.; Herrmann, M.; Jansen, S.; Kahle, P.; Kormoll, T.; Kosowski, K.; Lösch, H.; Mechtcherine, V.; Nurjahan, T.; Rauf, A.; Reinecke, A.-M.; Schleicher, E.; Schröfl, C.; Werner, T., Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonstrukturen im Sicherheitsbehälter von Druckwasserreaktoren während des Kraftwerksrückbaus (KOBKA), KONTEC 2023: Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“, 30.08.-01.09.2023, Dresden.

Döhler, D.; Kahle, P.; Kosowski, K.; Werner, T.; Kormoll, T., Radiation Sensor for In-situ Clearance Measurement of Potentially Contaminated Concrete Structures in Boreholes in Nuclear Facilities, KONTEC 2023: Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“, 30.08.-01.09.2023, Dresden.

Hampel, U., Forschung für den Rückbau von Kernkraftwerken: Das Projekt KOBKA, 55. Kraftwerkstechnisches Kolloquium (Vortrag), 10.-11.10.2023, Dresden.

Nurjahan, T. et al., AC impedance spectroscopy to characterize the dielectric material properties in concrete during decommissioning of nuclear power plants, 98th IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), 15.-19.10.2023, East Rutherford, NJ, USA.

Nurjahan, T. et al., Investigation of complex electrical properties of concrete during decommissioning of nuclear power plants: An experimental analysis, 16th IEEE International Workshop on Impedance Spectroscopy (IWIS), 26.-29.09.2023, Chemnitz.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9435A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke	
Vorhabenbezeichnung: VP: Visualisierung von Störstellen für Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessungen mit Hilfe von BIM (ViSDeMe), TP: 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: 448.297,58 € (inkl. Projektpauschale)
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing Sascha Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-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, ein Treffen in Mülheim-Kärlich mit dem Projektträger sowie Versuche in Mülheim-Kärlich und am Versuchsstand des **KIT** statt im Rahmen von **AP2**. Die endgültige Auswahl der Messtechnik steht noch aus. Aktuell werden **AP2** und **AP3** abgeschlossen, während parallel dazu die Arbeiten in **AP4** und **AP5** begonnen haben.

AP2: Datenaufnahme und Aufbau Versuchsstand

3.1 Rechercharbeiten zu Messverfahren

Ein Schwerpunkt dieses Projekts bildet u.a. die genaue Lokalisation von Ankerplatten unterhalb der Dekontaminationsbeschichtung, welche visuell nicht oder kaum sichtbar sind. Im Projekt wurden folgende potentiell zur Detektion geeignete Verfahren ermittelt:

1. (Aktive) Thermographie
2. Verschiedene Wandscanner (z. B. Fa. Hilti)
3. Time-of-Flight-Kameras
4. Ultraschallmessungen (z.B. mit der BAM)
5. Hochleistungslasermessgerät (z.B. Fraunhofer IPM)
6. Radarsensoren der Fa. OndoSense

3.2 Testmessungen zur Störstellendetektion

Das 1. der oben genannten Messverfahren wurde bereits 2022 durch das **KIT** vor Ort im Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich mit einer am **KIT** vorliegenden einfachen Wärmebildkamera und einem Heizstrahler getestet. Das Verfahren ist prinzipiell zur Detektion geeignet, aber mit den vorliegenden Geräten nicht zielführend. Aus diesem Grund wurden zunächst die Alternativen 2. – 5. untersucht: Im Juli und August 2023 wurden zum 2. Verfahren Testmessungen mit verschiedenen Hilti-Wandscannern am Versuchsstand des **KIT** durchgeführt. Die Verfahren sind teilweise zur Detektion geeignet, aber da diese allesamt handgeführt sind, wurden sie als unwirtschaftlich verworfen. Im Mai 2023 wurde das 3. Verfahren durch **RWE** in Mülheim-Kärlich getestet und verworfen, da keine zuverlässige Detektion sämtlicher Ankerplatten unter der Beschichtung möglich ist. Zum Testen des 4. Verfahrens wurde durch **RWE** im Rahmen eines anderen Projekts Kontakt zur Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (**BAM**) hergestellt, welche vor Ort im Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich Versuche durchgeführt hat. Die Auswertung der Ergebnisse ergab, dass mit diesem Verfahren keine getrennte Detektion der Ankerplatten sowie der Bewehrung durchgeführt werden kann und es wird somit als nicht geeignet erklärt. Für das 5. Verfahren wurde durch das **KIT** ein Kontakt zum Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik (**IPM**) hergestellt, welches im Juli 2023 Testmessungen am Versuchsstand des **KIT** am TMB durchgeführt hat. Es zeigte sich, dass das Verfahren zwar

prinzipiell geeignet sein könnte, aber noch sehr viel Forschungs- und Entwicklungsarbeit notwendig wäre, um das Verfahren auf unseren Anwendungsfall zu adaptieren. Das Verfahren kommt somit für eine Anwendung im Rahmen des ViSDeMe-Projekts nicht in Frage.

Da mit den Verfahren 2. – 5. keine optimale Lösung gefunden werden konnte, sollte das 1. Verfahren, die aktive Thermographie, weiter untersucht werden, da dieses bisher am vielversprechendsten war. Zu diesem Zweck wurden im Dezember 2023 Testmessungen mit verschiedenen leistungsstarken Erwärmungsgeräten und unterschiedlichen Wärmebildkameras durch die **BAM** in Mülheim-Kärlich durchgeführt. Die endgültigen Ergebnisse stehen noch aus, aber es zeigte sich bereits während der Messungen, dass die aktive Thermographie auf jeden Fall mit den entsprechenden Geräten zur berührungslosen Detektion der beschichteten Ankerplatten geeignet ist. Sie kristallisierte sich somit als nach aktuellem Stand beste Methode heraus. Die konkrete Geräteauswahl steht noch aus.

AP3: Punktwolkengenerierung

3.3 Erstellung Gebäudemodell

Auf Grundlage der Gesamtpunktwolke erfolgte die Modellierung der Räumlichkeiten. Zur bestmöglichen Anpassung der Gebäudeflächen an die Punktwolke wurden geometrische Primitive (Ebenen, Zylinder, Kugel) in dieser gefittet und anschließend daraus BIM-Objekte erzeugt. Dafür wurden verschiedene (BIM-)Softwareprodukte miteinander kombiniert. Die Fertigstellung des Gebäudemodells entspricht dem 1. Meilenstein des Projekts.

AP5: Modellintegration der Störstellen

3.4 Untersuchungen zur automatisierten Integration der Störstellen in das BIM-Modell

Im **AP5** wurden erste Untersuchungen zur automatisierten Integration von ausgewählten sichtbaren Störstellen in das BIM-Modell mittels Programmierung in Dynamo durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In den nächsten Monaten erfolgt die endgültige Auswahl und Beschaffung geeigneter Messtechnik für die Detektion der „unsichtbaren“ Störstellen, basierend auf den Versuchen im Rahmen von **AP2**. Parallel dazu wird das im **AP3** erstellte Gebäudemodell optimiert sowie weitere Untersuchungen im Rahmen von **AP4** und **AP5** durchgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Kurzvorstellung auf TMB-Homepage: www.tmb.kit.edu/Forschungsprojekte_7280.php

Full Paper und Kurzvortrag beim KONTEC Symposium, Dresden, 2023

peer-reviewed Final Paper und Vortrag beim Forum Bauinformatik, Bochum, 2023

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9435B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWE Nuclear GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Visualisierung von Störstellen für Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessungen mit Hilfe von BIM (ViSDeMe), TP: 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 Projektleiters/-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): Visual- 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 AP)

Die bisher durchgeführten Arbeiten verliefen in enger Kooperation mit **KIT**. In dem angegebenen Berichtszeitraum fanden regelmäßige Online-Projekttreffen, ein Treffen in Mülheim-Kärlich mit dem Projektträger sowie Versuche in Mülheim-Kärlich statt. Im Rahmen von **AP2** fanden erweiterte Versuche zum Testen von Varianten der Thermografie statt. Die endgültige Auswahl der Messtechnik steht noch aus. Aktuell werden **AP2** und **AP3** abgeschlossen, während parallel dazu die Arbeiten in **AP4** begonnen haben.

Bisherige Tätigkeiten und Termine (Fortführung zum letzten Bericht):

1. Durchführung der Regeltermine (**PM**)
2. Abstimmung zu den Ergebnissen der Daten und Lokalisierung der Störstellen (**AP 2**)
3. Recherche zu weiteren Verfahren der Erfassung der Ankerplatten (**AP 2**)
4. Testversuche am Versuchsstand des KIT in Karlsruhe (**AP 2**)
5. Testversuche des KIT in Mülheim-Kärlich zur Detektion der oberflächennahen Ankerplatten mittels verschiedener optischer Verfahren (**AP 2**)
6. Testversuche des BAM in Mülheim-Kärlich zur Detektion der oberflächennahen Ankerplatten mittels passiver und aktiver Thermografie (**AP 2**)
7. Begehung vor Ort und Abgleich mit den 3D-Plänen (**AP 3** und **AP 4**)
8. Abgleich mit den Ergebnissen der Raumdatenerfassung mit den 3D-Plänen und gefundenen Störstellen sowie Störstellenklassifizierung (**AP 3** und **AP 4**)
9. Projektgespräch in Mülheim-Kärlich mit der GRS, Vorstellung der bisherigen Arbeiten und Begehung vor Ort (**PM**)
10. Vorstellung der bisherigen Arbeiten und Ergebnisse auf der Kontec 2023 in Dresden und anschließender Besuch der BAM in Berlin (**PM** und **AP 2**)
11. Fachaustausch mit anderen Partnern zu Erfahrungen in der BIM-Aufnahme und Lokalisation von Ankerplatten (**AP 2**)

3.2 Rechercharbeiten zu Messverfahren

Ein Schwerpunkt dieses Projekts bildet u.a. die genaue Lokalisation von Ankerplatten unterhalb der Dekontaminationsbeschichtung, welche visuell nicht oder kaum sichtbar sind. Die im Jahr 2022 begonnene Recherche zur Erfassung solcher „unsichtbarer“ Ankerplatten, wurde fortgesetzt. Bis Ende 2023 wurden folgende Verfahren inhaltsanalytisch sowie feldexperimentell getestet:

7. Aktive Thermografie (kleiner Heizlüfter und einfache Thermografiekamera)
8. Elektromagnetisches Induktionsverfahren (z.B. Detektionsgeräte der Fa. Hilti)
9. Time-of-Flight-Kameras
10. Ultraschallmessungen (z.B. mit der BAM)
11. Lasermessungen (z.B. Fraunhofer IPM)
12. Radarsensoren der Fa. OndoSense

13. Passive und aktive Thermografie (verschiedene Heizstrahler, Lüfter und hochwertige Thermografiekameras)

a. Testmessungen zur Störstellendetektion (Folgearbeiten)

Entsprechend der bisherigen Testergebnisse, nach erneuter, erweiterter Rücksprache mit der BAM und einem Besuch in Berlin, haben wir uns zu Tests mit Thermografiekameras entschieden. Die Versuche waren sehr erfolgreich und geben viele Ideen zur Ergänzung der Raumdatenaufnahme. Hier unsere Erkenntnisse aus den knapp drei Tagen mit der BAM:

1. Aktive (aber auch passive) Thermografie ist ein taugliches Verfahren zur Aufdeckung von Ankerplatten unterhalb von Dekontbeschichtung. Der Aufwand variiert aber deutlich bezogen auf die räumlichen Gegebenheiten (siehe folgende Punkte)
2. Raum 10ZB04R004 – die Ankerplatten in der Wand konnten sehr gut und deutlich sichtbar gemacht werden. Hier war es ein ziemlich abgeschlossener Raum mit nahezu gleicher Luft und Wandtemperatur, der durch Wärmestrahlung mit Gebläse oder Scheinwerfer (Strahler Super Beam 1200) erwärmt wurde.
3. Raum 10ZB04R049 – Gang mit Stirnwand. Hier konnten die Platten eigentlich direkt mittels Beleuchtung mit dem Super Beam sichtbar gemacht werden. Sehr deutlich und sehr schnell.
4. Raum 10ZB04R702 – sehr kleiner abgeschlossener Raum mit drei Öffnungen in der Decke. Hier wurden bei der Suche nach „kaum sichtbaren“ Ankerplatten schon zwei Ankerplatten gefunden, die vorher nicht erkannt wurden.
5. Raum 10ZB16R007 – sehr offener Raum mit Luftzug von unten nach oben und einer Außenwand. Durch die Außenwand und deren thermischen Einfluss (Wände nach innen ca. 2° wärmer als die Außenwand war die Ankerplatte direkt – ohne gezielte Erwärmung sichtbar.

Die ersten gemeinsamen Schlussfolgerungen haben folgende Punkte ergeben:

1. Ein leistungsfähigerer Strahler als der Super Beam könnte sehr hilfreich sein – sowohl zur Beleuchtung und Sichtung als auch als Wärmestraher für die Thermografie.
2. Eine bessere Kamera (nicht zwingend der Preis- und Leistungsklasse der BAM) kann vieles fast direkt sichtbar machen. Hierzu könnte – je nach räumlichen Gegebenheiten eine Ausleuchtung von wenigen Sekunden bis Minuten und entsprechende Aufnahme durch die Kamera ausreichen.
3. Bei manchen Räumen könnte eine einfache handgeführte Aufnahme von Wänden und Decken schon ausreichen (z.B. bei Außenwand im Winter)

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In den nächsten Monaten erfolgt die endgültige Auswahl und Beschaffung geeigneter Messtechnik für die Detektion der „unsichtbaren“ Störstellen, basierend auf den Versuchen im Rahmen von AP2. Parallel dazu wird das im AP3 erstellte Gebäudemodell optimiert sowie weitere Untersuchungen im Rahmen von AP4 durchgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9439A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWE Nuclear GmbH, RWE Platz 2 2, 45141 Essen	
Vorhabenbezeichnung: VP: Autonome robotergestützte Reinigung und Vormessung, TP: Prototypbau einer autonomen Anlage zur Dekontamination und radiologischen Messung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2023 bis 28.02.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 361.573,90€
Projektleiter/-in: Dipl.-Ing. Thomas Schubert	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Thomas.Schuber@rwe.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Projekts ist, eine automatisierte und autonome robotergestützte Dekontamination von Bauteiloberflächen und die radiologische Messung von vorher unbekanntem individuellen Bauteilen unterschiedlichster Geometrie, Größe und Oberflächenbeschaffenheit mit variablen Mess- und Bearbeitungsverfahren durchzuführen. Dabei werden die im Vorprojekt ROBBE gewonnenen Erkenntnisse weiterentwickelt. Als Dekontaminationsverfahren wird ein robotergestütztes Laserablationsverfahren zur Anwendung kommen, während das Messverfahren radiologische Messungen mit einem oder mehreren unterschiedlichen Zählrohren durchführt, die eine qualitative und quantitative Aussage über radioaktive Verunreinigungen der gemessenen Oberflächen ermöglicht. Beide Verfahren erfordern eine besonders hohe Genauigkeit bei der Bauteilerkennung und bei der Anwendung der Wirkparameter der eingesetzten Bearbeitungs- und Messwerkzeuge. Die Bahnplanung verlangt eine bei beiden Verfahren unterschiedliche Strategie, die im Falle der Laserablation eher ein kontinuierliches oberflächennahes Abfahren erfordert, während im Falle der radiologischen Messung ein überwiegend gerastertes Ansteuern von Messpositionen, die über eine definierte Zeit gehalten werden müssen, erforderlich ist. Die roboterseite zu handhabenden Werkzeuge stellen zudem höhere Anforderungen an die kinematische Steuerung: die eindimensionale Wirkzone des Laserwerkzeugs am Endeffektor ist in der Orientierung quer zur Verfahrrichtung zu halten und kann allenfalls in Schritten von 180° gedreht werden. Damit geht bei der Werkzeugführung während der Bearbeitung ein entscheidender kinematischer Freiheitsgrad verloren. Bei der radiologischen Messung erfordert die Handhabung der zweidimensionalen Zählrohrflächen je nach eingesetzter Bauteilgeometrie eine Optimierungsstrategie bei der Aufteilung der Bauteiloberflächen in passende Raster unter Berücksichtigung der kinematischen Erreichbarkeit dieser Flächen.

Teilprojekt RWE:

RWE entwickelt und plant die technische Umsetzung für die gemeinsam mit dem Projektpartner (Fachinstitut: Fraunhofer Institut IGD in Darmstadt) zu entwickelnde Roboter-gestützte Automatisierungslösung, unterstützt die Entwicklung CE-konformer industrietauglicher Komponenten und deren Aufbau zu einer produktionsfähigen Prototypanlage. Die Arbeitspakete werden dabei in enger Zusammenarbeit unter stetiger Evaluierung der Ergebnisse mit dem Fraunhofer IGD bearbeitet.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Projekt ist in sieben Arbeitspakete (AP) gegliedert:

AP1 – Anforderungsanalyse und Systemdesign

AP2 – Ansätze zur Geometrie- und Lageerfassung von Bauteilen, Bahnplanung

AP3 – Dekontamination

AP4 – Vormessung

AP5 – Integration und Evaluation

AP6 – Industrieller Anlagenprototyp

Prototyp1: Funktional im Laborbereich zum Testen und Evaluieren

Prototyp2: Funktional mit Industriekomponenten, Werksgelände KWB

AP7 – Projektmanagement

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

AP1 – Anforderungsanalyse und Systemdesign

- Durchführung von Laborversuchen zur Auswahl einer geeigneten Lasertechnik und deren Betriebsparameter für die Anforderungen der Laserdekontamination
- Erarbeitung prozessspezifischer Anforderungen zur Geometrienerkennung von Bauteilen
- Automatisierungspotenzialanalyse für die Arbeitsschritte der radiologischen Vormessung. Ermittlung der grundsätzlichen Anforderungen an die Arbeitsstation für eine qualifizierte Messung. Berücksichtigung der hier speziell erforderlichen Geometrienerkennung von Bauteiloberflächen und der erforderlichen manuellen Interaktionen
- Erhebung allg. und sicherheitsspezifischer ingenieurtechnischer Anforderungen und deren Auswirkung auf das Systemdesign, wie bspw. die räumliche und organisatorische Anordnung der Prozessschritte. Erstellung und Bearbeitung von Greifanalysen und 3D-CAD-Modellen
- Erarbeitung von technischen Ansprüchen an die Geometrienerkennung zu bearbeitender Bauteilflächen
- Automatisierungspotenzialanalyse für die lagerichtige Zufuhr der Bauteile und Erarbeitung von Entwürfen für das grundlegende Design der Arbeitsstationen mit und ohne automatisiertem Bauteiltransport
- Allg. Untersuchung von Maßnahmen zur Verbesserung der Roboterkinematik auf Basis des Einsatzes von Drehtischen und/oder Linearachsen
- Spezifikation der erforderlichen Robotertechnik

AP2 – Ansätze zur Geometrieerfassung, Lageerfassung von Bauteilen, Entwicklung der Grundstruktur der Bahnplanung für die Entschichtung/Vormessung

- Erarbeitung einer Konzeption des grundlegenden Prozessablaufs der Geometrienerkennung von Bauteilen und von prinzipiellen technischen Möglichkeiten zur technischen Umsetzung

AP3 – Laserdekontamination

- Laborversuche zur Ermittlung der Wirkparameter
- Numerische bzw. algorithmische Umsetzung der Wirkparameter für die Robotersteuerung
- Erarbeitung eines Konzepts zur Adaptierung des Laserbearbeitungskopfes und der Energiekette am Roboterarm
- Durchführung von Laborversuchen mit robotergeführtem Bearbeitungslaser
- Optimierung der physikalischen Wirkparameter und Übertragung der Settings auf die reale Laseranlage. Erarbeitung techn. Vorschläge zur Führung der Energiekette

- Spezifizierung der Komponenten für die Laserablationstechnik und die Robotertechnik. Für die Laserdekontamination und die radiologische Messung werden gleichartige Roboterarme verwendet
- Erstellung des Pflichtenhefts für die Laserdekontamination und Robotertechnik und Einleitung der Beschaffung dieser Komponenten
- Grundlegende technische Konzeption und Bearbeitung der Spezifikation für die lokale Absaugung

AP4 – Vormessung (Orientierungsmessung)

- Analyse der Möglichkeiten, vorhandene oder ggf. neue Zählrohrtechnik entsprechend der realen Messanweisungen, einsetzen zu können. Dieser Punkt ist administrativ/genehmigungstechnisch aufwendig, wenn eine qualifizierte radiologische Messung im Zuge einer uneingeschränkten Freigabe erfolgen soll
- Voruntersuchung von Möglichkeiten, vorhandene gasgespülte Zählrohrtypen oder Szintillationszählrohre am Endeffektor eines Roboterarms zu adaptieren
- Kontakt zu drei Herstellern mit andauernder Beratung über Entwicklungsmöglichkeiten für die Adaptierung an Industrierobotern und zur Datenübertragung
- Analyse bestehender Messanweisungen zur Vormessung von Bauteilen im Hinblick auf deren Umsetzbarkeit mit Roboterunterstützung

AP5 – Integration und Evaluation

Erarbeitung von 3D-CAD-Entwürfen für die Bearbeitungsstationen mit Konzeption des Materialflusses. Erstellung einer ersten Aufstellungsplanung für den realen Fabrikbetrieb.

Erarbeitung der Spezifikationen für die Systemintegration. Marktrecherche und Kontakt zu Herstellern zur Vorbereitung der Ausschreibung.

AP7 – Projektmanagement

Weitere Bearbeitung der Konzeption für die Anlagensteuerung. Erstellung von Single-Line-Charts für die Datenkommunikation mit den unterschiedlichen PLC und Prozessrechnern.

Weiterbearbeitung des detaillierten Projektterminplans. Durchführung von Projektgesprächen mit den Projektpartnern. Teilnahme an der Kontec2023 in Dresden mit Fachvortrag. Teilnahme am Partizipationsworkshop am KIT/Fraunhofer IOSB in Karlsruhe.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: detailliertere Entwicklung des Sys-Designs und der phys. Wirkparameter. AP2: Spezifikation der technischen Komponenten. AP3: Adaptierung der Lasertechnik an den Roboterbetrieb, Weiterentwicklung der Konzeption für den Bauteiltransport und die lagerichtige Zufuhr. AP4: Spezifikation geeigneter zugelassener Zählrohrtechnik und deren Adaptierung für den Roboterbetrieb. Erarbeitung eines Konzepts für die elektronische Auswertung und Dokumentation gemessener Impulsraten. AP5: Zu Jahresbeginn 2024 wird die organisatorische und technische Umsetzung der Systemintegration stehen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Teilnahme an der Kontec 2023 in Dresden, Fachvortrag zum „ROBBE“-Projekt mit Ausblick auf „ARRIVE“.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9439B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Postfach 200733, 800007 München, für ihr Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung IGD, Fraunhoferstraße 5, 64283 Darmstadt	
Vorhabenbezeichnung: VP: Autonome robotergestützte Reinigung und Vormessung (ARRIVE), TP: Autonome Laserablation und radiologische Vormessung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2023 bis 28.02.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.601.161,45€
Projektleiter/-in: Dipl.-Ing. Thomas Schubert	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Thomas.Schuber@rwe.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Projekts ist, eine automatisierte und autonome robotergestützte Dekontamination von Bauteiloberflächen und die radiologische Messung von vorher unbekanntem individuellen Bauteilen unterschiedlichster Geometrie, Größe und Oberflächenbeschaffenheit mit variablen Mess- und Bearbeitungsverfahren durchzuführen. Dabei werden die im Vorprojekt ROBBE gewonnenen Erkenntnisse weiterentwickelt. Als Dekontaminationsverfahren wird ein robotergestütztes Laserablationsverfahren zur Anwendung kommen, während das Messverfahren radiologische Messungen mit einem oder mehreren unterschiedlichen Zählrohren durchführt, die eine qualitative und quantitative Aussage über radioaktive Verunreinigungen der gemessenen Oberflächen ermöglicht. Beide Verfahren erfordern eine besonders hohe Genauigkeit bei der Bauteilerkennung und bei der Anwendung der Wirkparameter der eingesetzten Bearbeitungs- und Messwerkzeuge. Die Bahnplanung verlangt eine bei beiden Verfahren unterschiedliche Strategie, die im Falle der Laserablation eher ein kontinuierliches oberflächennahes Abfahren erfordert, während im Falle der radiologischen Messung ein überwiegend gerastertes Ansteuern von Messpositionen, die über eine definierte Zeit gehalten werden müssen, erforderlich ist. Die roboterseitig zu handhabenden Werkzeuge stellen zudem höhere Anforderungen an die kinematische Steuerung: die eindimensionale Wirkzone des Laserwerkzeugs am Endeffektor ist in der Orientierung quer zur Verfahrungsrichtung zu halten. Damit geht bei der Werkzeugführung während der Bearbeitung ein entscheidender kinematischer Freiheitsgrad verloren. Bei der radiologischen Messung erfordert die Handhabung der zweidimensionalen Zählrohrflächen je nach eingesetzter Bauteilgeometrie eine Optimierungsstrategie bei der Aufteilung der Bauteiloberflächen in passende Raster unter Berücksichtigung der kinematischen Erreichbarkeit dieser Flächen.

Teilprojekt IGD:

In enger Abstimmung mit RWE entwickelt das Fraunhofer IGD die notwendige autonome, dynamische, Roboter-gestützte 3D-Digitalisierung und Reinigung beliebiger Objektoberflächen unter Berücksichtigung der Laserablationswirkparameter und Störgeometrien. Des Weiteren entwickelt das Fraunhofer IGD die Bahnplanung für die radiologische Messung und damit Qualitätskontrolle der zu entsorgenden Bauteile, bzw. Baugruppen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Projekt ist in sieben Arbeitspakete (AP) gegliedert:

AP1 – Anforderungsanalyse und Systemdesign

AP2 – Ansätze zur Geometrie- und Lageerfassung von Bauteilen, Bahnplanung

AP3 – Dekontamination

AP4 – Vormessung

AP5 – Integration und Evaluation

AP6 – Industrieller Anlagenprototyp

Prototyp1: Funktional im Laborbereich zum Testen und Evaluieren

Prototyp2: Funktional mit Industriekomponenten, Werksgelände KWB

AP7 – Projektmanagement

Das Fraunhofer IGD ist an allen Arbeitspaketen beteiligt.

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

AP1 – Anforderungsanalyse und Systemdesign

- Durchführung von Laborversuchen zur Auswahl einer geeigneten Lasertechnik und deren Betriebsparameter für die Anforderungen der Laserdekontamination
- Erarbeitung prozessspezifischer Anforderungen zur Geometrieerkennung von Bauteilen
- Automatisierungspotenzialanalyse für die Arbeitsschritte der radiologischen Vormessung. Ermittlung der grundsätzlichen Anforderungen an die Arbeitsstation für eine qualifizierte Messung. Berücksichtigung der hier speziell erforderlichen Geometrieerkennung von Bauteiloberflächen und der erforderlichen manuellen Interaktionen
- Erhebung allg. und sicherheitsspezifischer ingenieurtechnischer Anforderungen und deren Auswirkung auf das Systemdesign, wie bspw. die räumliche und organisatorische Anordnung der Prozessschritte. Erstellung und Bearbeitung von Greifanalysen und 3D-CAD-Modellen
- Erarbeitung von technischen Ansprüchen an die Geometrieerkennung zu bearbeitender Bauteilflächen
- Automatisierungspotenzialanalyse für die lagerichtige Zufuhr der Bauteile und Erarbeitung von Entwürfen für das grundlegende Design der Arbeitsstationen mit und ohne automatisiertem Bauteiltransport
- Allg. Untersuchung von Maßnahmen zur Verbesserung der Roboterkinematik auf Basis des Einsatzes von Drehtischen und/oder Linearachsen
- Spezifikation der erforderlichen Robotertechnik

AP2 – Ansätze zur Geometrieerfassung, Lageerfassung von Bauteilen, Entwicklung der Grundstruktur der Bahnplanung für die Entschichtung/Vormessung

- Erarbeitung einer Konzeption des grundlegenden Prozessablaufs der Geometrieerkennung von Bauteilen und von prinzipiellen technischen Möglichkeiten zur technischen Umsetzung
- Ermittlung der technischen Anforderungen an die Geometrie- und Lageerfassung von Bauteilen aus dem Blickwinkel des Bearbeitungs- und Messverfahrens
- Umsetzung der Wirkparameter des Laserbearbeitungswerkzeugs in eine programmatische Repräsentation
- Modellierung eines virtuellen Zwillings des Laserscanners und Laserbearbeitungswerkzeugs unter Weiterentwicklung der in ROBBE geschaffenen Grundlagen für die cyberphysikalische Äquivalenz.

- Ableitung eines Schemas für die Erzeugung idealer Führungsbahnen für die Laserbearbeitung und Kontaminationsmessung unter Berücksichtigung der realen Wirkparameter der Bearbeitungswerkzeuge auf die Bauteiloberfläche/Geometrie in Bezug auf durchgeführte Tests mit dem Laserbearbeitungswerkzeug.

AP3 – Laserdekontamination

- Laborversuche zur Ermittlung der Wirkparameter
- Numerische bzw. algorithmische Umsetzung der Wirkparameter für die Robotersteuerung
- Erarbeitung eines Konzepts zur Adaptierung des Laserbearbeitungskopfes und der Energiekette am Roboterarm
- Durchführung von Laborversuchen mit robotergeführtem Bearbeitungslaser
- Optimierung der physikalischen Wirkparameter und Übertragung der Settings auf die reale Laseranlage. Erarbeitung techn. Vorschläge zur Führung der Energiekette
- Spezifizierung der Komponenten für die Laserablationstechnik und die Robotertechnik. Für die Laserdekontamination und die radiologische Messung werden gleichartige Roboterarme verwendet
- Erstellung des Pflichtenhefts für die Laserdekontamination und Robotertechnik und Einleitung der Beschaffung dieser Komponenten
- Grundlegende technische Konzeption und Bearbeitung der Spezifikation für die lokale Absaugung

AP4 – Vormessung (Orientierungsmessung)

- Analyse der Möglichkeiten, vorhandene oder ggf. neue Zählrohrtechnik entsprechend der realen Messanweisungen, einsetzen zu können. Dieser Punkt ist administrativ/genehmigungstechnisch aufwendig, wenn eine qualifizierte radiologische Messung im Zuge einer uneingeschränkten Freigabe erfolgen soll
- Voruntersuchung von Möglichkeiten, vorhandene gasespülte Zählrohrtypen oder Szintillationszählrohre am Endeffektor eines Roboterarms zu adaptieren
- Kontakt zu drei Herstellern mit andauernder Beratung über Entwicklungsmöglichkeiten für die Adaptierung an Industrierobotern und zur Datenübertragung
- Analyse bestehender Messanweisungen zur Vormessung von Bauteilen im Hinblick auf deren Umsetzbarkeit mit Roboterunterstützung

AP5 – Integration und Evaluation

Erarbeitung von 3D-CAD-Entwürfen für die Bearbeitungsstationen mit Konzeption des Materialflusses. Erstellung einer ersten Aufstellungsplanung für den realen Fabrikbetrieb.

Erarbeitung der Spezifikationen für die Systemintegration. Marktrecherche und Kontakt zu Herstellern zur Vorbereitung der Ausschreibung.

AP7 – Projektmanagement

Weitere Bearbeitung der Konzeption für die Anlagensteuerung. Erstellung von Single-Line-Charts für die Datenkommunikation mit den unterschiedlichen PLC und Prozessrechnern.

Weiterbearbeitung des detaillierten Projektterminplans. Durchführung von Projektgesprächen mit den Projektpartnern. Teilnahme an der Kontec2023 in Dresden mit Fachvortrag. Teilnahme am Partizipationsworkshop am KIT/Fraunhofer IOSB in Karlsruhe.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: detailliertere Entwicklung des Sys-Designs und der phys. Wirkparameter. Spezifikation der technischen Komponenten. AP2: Modellierung und Simulation von zwei digitalen Zwillingen des Laserscan- und Bearbeitungsprozesses und des anschließenden Vormessprozesses, sowie ihrer tatsächlichen Hardwareausprägung und unterstützender Infrastruktur. Aufbau einer Laboranordnung für beide Prozesse am Fraunhofer IGD. AP3: Adaptierung der Lasertechnik an den Roboterbetrieb, Weiterentwicklung der Konzeption für den Bauteiltransport und die lagerichtige Zufuhr. AP4: Spezifikation geeigneter zugelassener Zählrohrtechnik und deren Adaptierung für den Roboterbetrieb. Erarbeitung eines Konzepts für die elektronische Auswertung und Dokumentation gemessener Impulsraten. AP5: Zu Jahresbeginn 2024 wird die organisatorische und technische Umsetzung der Systemintegration stehen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Teilnahme an der Kontec 2023 in Dresden, Fachvortrag zum „ROBBE“-Projekt mit Ausblick auf „ARRIVE“.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9440A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hochschule Konstanz – Technik, Wirtschaft und Gestaltung HTWG, Labor für Produktentwicklung und Maschinenkonstruktion, Alfred-Wachtel-Str. 8, 78462 Konstanz	
Vorhabenbezeichnung: VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen, TP: Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 257.388,30€
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 der Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberfläche, welche für eine erfolgreiche Freimessung dekontaminiert werden muss. Üblicherweise erfolgt die Dekontamination durch das Abtragen der Oberfläche bis zu der Tiefe, ab der keine Kontamination mehr vorliegt.

Die Gespräche mit Rückbaufirmen und Kernkraftwerksbetreibern haben ergeben, dass insbesondere die Ecken- und Innenkantendekontamination bisher mit handgeführten Geräten durchgeführt wird. Werkzeuge wie zum Beispiel Nadelpistolen, Stock- und Schleifgeräte entsprechen dem heutigen Stand der Technik. Diese Geräte werden ursprünglich für Sanierungsarbeiten eingesetzt und sind demnach nicht speziell für die Dekontamination von Gebäuden entwickelt worden. Neben der geringen Flächenleistung der Geräte, der unebenen Oberfläche, die hinterlassen wird und der hohen körperlichen Belastung für die Arbeiter, trägt auch die fehlende Absaugung zur begrenzten Eignung bei. Die fehlende Absaugung wird kompensiert durch die Verwendung von zusätzlichen Industriestaubsaugern, was die ohnehin schon komplexe und langwierige Arbeit zusätzlich aufwändiger macht.

Um diesen Schwierigkeiten und Problemen entgegenzuwirken und eine verbesserte Lösung für die Dekontamination der Ecken und Innenkanten zu liefern, wird zum aktuellen Zeitpunkt das Projekt „EKont“ durchgeführt. Ziel dieses Projektes ist es, die Leistungsparameter der aktuell verwendeten Geräte zu untersuchen und Verbesserungsmöglichkeiten zu finden. Hierfür wurden bereits mehrere Demonstratoren entwickelt und in einem Versuchsaufbau erprobt. Da mögliche Verbesserungen bei diesem Projekt aufgetreten sind, soll ein weiteres Forschungsprojekt angestoßen werden, welches an das bestehende EKont-Projekt anknüpft.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1:	(01.07.2023 – 31.07.2023):	Projektstart
AP 2:	(01.08.2023 – 29.02.2024):	Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster
AP 3:	(01.03.2024 – 31.07.2024):	Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand
AP 4:	(01.08.2024 – 31.12.2024):	Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse
AP 5:	(01.01.2025 – 31.07.2025):	Optimierung der Versuchsmuster und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung
AP 6:	(01.08.2025 – 31.10.2025):	Versuche vor Ort
AP 7:	(01.11.2025 – 31.03.2026):	Optimierung der Versuchsmuster
AP 8:	(01.04.2026 – 30.06.2026):	Dokumentation und Evaluation

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

AP 1: Projektstart

Zum Projektstart wurde mit allen Projektpartnern das abgeschlossene Ekont-Projekt aufgearbeitet und analysiert, um Erkenntnisse für das Folgeprojekt zu generieren. Dies wurde durch ein Projekttreffen bei der Firma Contec Maschinenbau GmbH realisiert, bei dessen Gelegenheit eine Führung durch das Firmengelände stattfand mit Vorstellung von verschiedenen technischen Geräten der Beton- und Oberflächenbearbeitung, die für den potentiellen kerntechnischen Einsatz in Betracht kommen.

Im Projekttreffen wurden die entwickelten Demonstratorwerkzeuge näher diskutiert und Vor- und Nachteile aufgeschlüsselt. Insbesondere die im Erstprojekt durchgeführten Praxiserprobungen lieferten hierbei interessante Ergebnisse.

Unter diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen wurde die Weiterentwicklung geplant, Verbesserungspotential identifiziert und Gesamtkonzepte konzipiert.

Das Arbeitspaket 1: Projektstart mit einer Kurzlaufzeit von einem Monat wurde erfolgreich abgeschlossen und eine planmäßige Weiterarbeit an Arbeitspaket 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster kann stattfinden.

AP 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster

Im August 2023 wurde mit der Entwicklung der neuen Versuchswerkzeuge begonnen. Hierbei wurde auf den Erkenntnissen des Erstprojekts das neue Werkzeug konzipiert. Hierbei fand eine grundlegende Neukonzipierung und Verbesserung aller Bestandteile (Trägergerät, Einhausung & Diamantscheiben) des Werkzeugs statt. Das Träger- und Antriebswerkzeug wurde ersetzt durch ein dem modernsten Stand der Technik entsprechenden Winkelschleifer der Firma Bosch. Momentan wird hierfür der Typ Bosch GWS 18V-15 SC verwendet, der modular verwendbar ist und über einen Akkuantrieb verfügt. Die Einhausung der Werkzeugs wurde komplett neu konstruiert und erstmalig durch die KIT-Werkstatt aus CNC-bearbeitetem Aluminium gefertigt. Dies verringert das Einhausungsgewicht um ca. 51% und durch die Massivbauweise konnte die Einhausung komplett ohne Schweißverbindungen hergestellt werden. Die Diamantscheiben wurden durch die Contec GmbH bearbeitet. Hierfür wurden die bisher verwendeten Diamantscheiben per Laserschneidung in Kombination mit den neuen Konstruktionszeichnungen deutlich leichter gestaltet. Die Auswirkungen auf die Staubmenge und Staubzusammensetzung sowie die Kühlung der Scheiben wird in AP 4 betrachtet, wird jedoch als positiv eingeschätzt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2: In den folgenden sechs Monaten soll Arbeitspaket 2 abgeschlossen werden und die neu entwickelten Versuchsmuster sollen gefertigt werden. Dies ist zum aktuellen Zeitpunkt bis zum geplanten Arbeitspaket-Ende Februar realisierbar.

AP 3: Die Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand soll ab März 2024 erfolgen. Hierfür müssen ein oder mehrere Adapterstücke angefertigt werden, um einen Betrieb der neu entwickelten Werkzeuge im Versuchsstand zu ermöglichen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- KONTEC, Postervortrag: „Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Geräts für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen“, 30.08 – 01.09.2023, Dresden
- SafeND Forschungssymposium, Plenarvortrag: „EKONT-2: Advancement of a demonstrator for dry-mechanical decontamination of corners and inner edge in nuclear facilities“, 13.09. – 15.09.2023, Berlin
- ATW Journal, Magazinbeitrag: “Entwicklung eines Werkzeugs zur mechanischen Innenkanten- und Eckendekontamination“, 01.11.2023, www.kernd.de

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9440B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Gotthard-Franz-Str. 3, Geb. 50.31, 76131 Karlsruhe	
Vorhabenbezeichnung: VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen, TP: Durchführung experimenteller Versuche und Auswertung der Versuchsmuster	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 250.518,25 €
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 der Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberfläche, welche für eine erfolgreiche Freimessung dekontaminiert werden muss. Üblicherweise erfolgt die Dekontamination durch das Abtragen der Oberfläche, bis zu der Tiefe, ab der keine Kontamination mehr vorliegt.

Die Gespräche mit Rückbaufirmen und Kernkraftwerksbetreibern haben ergeben, dass insbesondere die Ecken- und Innenkantendekontamination bisher mit handgeführten Geräten durchgeführt wird. Werkzeuge wie zum Beispiel Nadelpistolen, Stock- und Schleifgeräte entsprechen dem heutigen Stand der Technik. Diese Geräte werden ursprünglich für Sanierungsarbeiten eingesetzt und sind demnach nicht speziell für die Dekontamination von Gebäuden entwickelt worden. Neben der geringen Flächenleistung der Geräte, der unebenen Oberfläche die hinterlassen wird und der hohen körperlichen Belastung für die Arbeiter, trägt auch die fehlende Absaugung zur begrenzten Eignung bei. Die fehlende Absaugung wird kompensiert durch die Verwendung von zusätzlichen Industriestaubsaugern, was die ohnehin schon komplexe und langwierige Arbeit zusätzlich aufwändiger macht.

Um diesen Schwierigkeiten und Problemen entgegenzuwirken und eine verbesserte Lösung für die Dekontamination der Ecken und Innenkanten zu liefern, wird zum aktuellen Zeitpunkt das Projekt „EKont“ durchgeführt. Ziel dieses Projektes ist es die Leistungsparameter der aktuell verwendeten Geräte zu untersuchen und Verbesserungsmöglichkeiten zu finden. Hierfür wurden bereits mehrere Demonstratoren entwickelt und in einem Versuchsaufbau erprobt. Da mögliche Verbesserungen bei diesem Projekt aufgetreten sind, soll ein weiteres Forschungsprojekt angestoßen werden, welches an das bestehende EKont-Projekt anknüpft.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1: (01.07.2023 – 31.07.2023): Projektstart
- AP 2: (01.08.2023 – 29.02.2024): Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster
- AP 3: (01.03.2024 – 31.07.2024): Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand
- AP 4: (01.08.2024 – 31.12.2024): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse

- AP 5: (01.01.2025 – 31.07.2025): Optimierung der Versuchsmuster und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung
- AP 6: (01.08.2025 – 31.10.2025): Versuche vor Ort
- AP 7: (01.11.2025 – 31.03.2026): Optimierung der Versuchsmuster
- AP 8: (01.04.2026 – 30.06.2026): Dokumentation und Evaluation

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

AP 1: Projektstart

Zum Projektstart wurde mit allen Projektpartnern das abgeschlossene Ekont- Projekt aufgearbeitet und analysiert um Erkenntnisse für das Folgeprojekt zu generieren. Dies wurde durch ein Projekttreffen bei der Firma Contec Maschinenbau GmbH realisiert, bei dessen Gelegenheit eine Führung durch das Firmengelände stattfand mit Vorstellung von verschiedenen technischen Geräten der Beton- und Oberflächenbearbeitung, die für den potentiellen kerntechnischen Einsatz in Betracht kommen.

Im Projekttreffen wurden die entwickelten Demonstratorwerkzeuge näher diskutiert und Vor- und Nachteile aufgeschlüsselt. Insbesondere die im Erstprojekt durchgeführten Praxiserprobungen lieferten hierbei interessante Ergebnisse.

Unter diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen wurde die Weiterentwicklung geplant, Verbesserungspotential identifiziert und Gesamtkonzepte konzipiert.

Das Arbeitspaket 1: Projektstart mit einer Kurzlaufzeit von einem Monat wurde erfolgreich abgeschlossen und eine planmäßige Weiterarbeit an Arbeitspaket 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster kann stattfinden.

AP 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster

Im August 2023 wurde mit der Entwicklung der neuen Versuchswerkzeuge begonnen. Hierbei wurde auf den Erkenntnissen des Erstprojekts das neue Werkzeug konzipiert. Hierbei fand eine grundlegende Neukonzipierung und Verbesserung aller Bestandteile (Trägergerät, Einhausung & Diamantscheiben) des Werkzeugs statt. Das Träger- und Antriebswerkzeug wurde ersetzt durch ein dem modernsten Stand der Technik entsprechenden Winkelschleifer der Firma Bosch. Momentan wird hierfür der Typ Bosch GWS 18V-15 SC verwendet, der modular verwendbar ist und über einen Akkuantrieb verfügt. Die Einhausung der Werkzeugs wurde komplett neu konstruiert und erstmalig durch die KIT-Werkstatt aus CNC-bearbeitetem Aluminium gefertigt. Dies verringert das Einhausungsgewicht um ca. 51% und durch die Massivbauweise konnte die Einhausung komplett ohne Schweißverbindungen hergestellt werden. Die Diamantscheiben wurden durch die Contec GmbH bearbeitet. Hierfür wurden die bisher verwendeten Diamantscheiben per Laserzuschnitt in Kombination mit den neuen Konstruktionszeichnungen deutlich leichter gestaltet. Die Auswirkungen auf die Staubmenge und Staubzusammensetzung sowie die Kühlung der Scheiben wird in AP 4 betrachtet, wird jedoch als positiv eingeschätzt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2: In den folgenden sechs Monaten soll Arbeitspaket 2 abgeschlossen werden und die neu entwickelten Versuchsmuster sollen gefertigt werden. Dies ist zum aktuellen Zeitpunkt bis zum geplanten Arbeitspaket-Ende Februar realisierbar.

AP 3: Die Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand soll ab März 2024 erfolgen. Hierfür müssen ein oder mehrere Adapterstücke angefertigt werden, um einen Betrieb der neu entwickelten Werkzeuge im Versuchsstand zu ermöglichen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- KONTEC, Postervortrag: „Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Geräts für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen“, 30.08 – 01.09.2023, Dresden
- SafeND Forschungssymposium, Plenarvortrag: „EKONT-2: Advancement of a demonstrator for dry-mechanical decontamination of corners and inner edge in nuclear facilities“, 13.09. – 15.09.2023, Berlin
- ATW Journal, Magazinbeitrag: “Entwicklung eines Werkzeugs zur mechanischen Innenkanten- und Eckendekontamination“, 01.11.2023, www.kernd.de

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9440C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Contec GmbH, Hauptstraße 146, 57518 Alsdorf	
Vorhabenbezeichnung: VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen, TP: Detaillierung und Ausgestaltung der Versuchsmuster samt Einhausung mit Absaugung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 119.334,85 €
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 der Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberfläche, welche für eine erfolgreiche Freimessung dekontaminiert werden muss. Üblicherweise erfolgt die Dekontamination durch das Abtragen der Oberfläche, bis zu der Tiefe, ab der keine Kontamination mehr vorliegt.

Die Gespräche mit Rückbaufirmen und Kernkraftwerksbetreibern haben ergeben, dass insbesondere die Ecken- und Innenkantendekontamination bisher mit handgeführten Geräten durchgeführt wird. Werkzeuge wie zum Beispiel Nadelpistolen, Stock- und Schleifgeräte entsprechen dem heutigen Stand der Technik. Diese Geräte werden ursprünglich für Sanierungsarbeiten eingesetzt und sind demnach nicht speziell für die Dekontamination von Gebäuden entwickelt worden. Neben der geringen Flächenleistung der Geräte, der unebenen Oberfläche die hinterlassen wird und der hohen körperlichen Belastung für die Arbeiter, trägt auch die fehlende Absaugung zur begrenzten Eignung bei. Die fehlende Absaugung wird kompensiert durch die Verwendung von zusätzlichen Industriestaubsaugern, was die ohnehin schon komplexe und langwierige Arbeit zusätzlich aufwändiger macht.

Um diesen Schwierigkeiten und Problemen entgegenzuwirken und eine verbesserte Lösung für die Dekontamination der Ecken und Innenkanten zu liefern, wird zum aktuellen Zeitpunkt das Projekt „EKont“ durchgeführt. Ziel dieses Projektes ist es die Leistungsparameter der aktuell verwendeten Geräte zu untersuchen und Verbesserungsmöglichkeiten zu finden. Hierfür wurden bereits mehrere Demonstratoren entwickelt und in einem Versuchsaufbau erprobt. Da mögliche Verbesserungen bei diesem Projekt aufgetreten sind, soll ein weiteres Forschungsprojekt angestoßen werden, welches an das bestehende EKont-Projekt anknüpft.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1: (01.07.2023 – 31.07.2023): Projektstart
- AP 2: (01.08.2023 – 29.02.2024): Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster
- AP 3: (01.03.2024 – 31.07.2024): Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand
- AP 4: (01.08.2024 – 31.12.2024): Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse
- AP 5: (01.01.2025 – 31.07.2025): Optimierung der Versuchsmuster und Konstruktion

	einer Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung
AP 6: (01.08.2025 – 31.10.2025):	Versuche vor Ort
AP 7: (01.11.2025 – 31.03.2026):	Optimierung der Versuchsmuster
AP 8: (01.04.2026 – 30.06.2026):	Dokumentation und Evaluation

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

AP 1: Projektstart

Zum Projektstart wurde mit allen Projektpartnern das abgeschlossene Ekont- Projekt aufgearbeitet und analysiert um Erkenntnisse für das Folgeprojekt zu generieren. Dies wurde durch ein Projekttreffen bei der Firma Contec Maschinenbau GmbH realisiert, bei dessen Gelegenheit eine Führung durch das Firmengelände stattfand mit Vorstellung von verschiedenen technischen Geräten der Beton- und Oberflächenbearbeitung, die für den potentiellen kerntechnischen Einsatz in Betracht kommen.

Im Projekttreffen wurden die entwickelten Demonstratorwerkzeuge näher diskutiert und Vor- und Nachteile aufgeschlüsselt. Insbesondere die im Erstprojekt durchgeführten Praxiserprobungen lieferten hierbei interessante Ergebnisse.

Unter diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen wurde die Weiterentwicklung geplant, Verbesserungspotential identifiziert und Gesamtkonzepte konzipiert.

Das Arbeitspaket 1: Projektstart mit einer Kurzlaufzeit von einem Monat wurde erfolgreich abgeschlossen und eine planmäßige Weiterarbeit an Arbeitspaket 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster kann stattfinden.

AP 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster

Im August 2023 wurde mit der Entwicklung der neuen Versuchswerkzeuge begonnen. Hierbei wurde auf den Erkenntnissen des Erstprojekts das neue Werkzeug konzipiert. Hierbei fand eine grundlegende Neukonzipierung und Verbesserung aller Bestandteile (Trägergerät, Einhausung & Diamantscheiben) des Werkzeugs statt. Das Träger- und Antriebswerkzeug wurde ersetzt durch ein dem modernsten Stand der Technik entsprechenden Winkelschleifer der Firma Bosch. Momentan wird hierfür der Typ Bosch GWS 18V-15 SC verwendet, der modular verwendbar ist und über einen Akkuantrieb verfügt. Die Einhausung der Werkzeugs wurde komplett neu konstruiert und erstmalig durch die KIT-Werkstatt aus CNC-bearbeitetem Aluminium gefertigt. Dies verringert das Einhausungsgewicht um ca. 51% und durch die Massivbauweise konnte die Einhausung komplett ohne Schweißverbindungen hergestellt werden. Die Diamantscheiben wurden durch die Contec GmbH bearbeitet. Hierfür wurden die bisher verwendeten Diamantscheiben per Laserzuschnitt in Kombination mit den neuen Konstruktionszeichnungen deutlich leichter gestaltet. Die Auswirkungen auf die Staubmenge und Staubzusammensetzung sowie die Kühlung der Scheiben wird in AP 4 betrachtet, wird jedoch als positiv eingeschätzt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP 2: In den folgenden sechs Monaten soll Arbeitspaket 2 abgeschlossen werden und die neu entwickelten Versuchsmuster sollen gefertigt werden. Dies ist zum aktuellen Zeitpunkt bis zum geplanten Arbeitspaket-Ende Februar realisierbar.

AP 3: Die Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand soll ab März 2024 erfolgen. Hierfür müssen ein oder mehrere Adapterstücke angefertigt werden, um einen Betrieb der neu entwickelten Werkzeuge im Versuchsstand zu ermöglichen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- KONTEC, Postervortrag: „Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Geräts für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen“, 30.08 – 01.09.2023, Dresden
- SafeND Forschungssymposium, Plenarvortrag: „EKONT-2: Advancement of a demonstrator for dry-mechanical decontamination of corners and inner edge in nuclear facilities“, 13.09. – 15.09.2023, Berlin
- ATW Journal, Magazinbeitrag: “Entwicklung eines Werkzeugs zur mechanischen Innenkanten- und Eckendekontamination“, 01.11.2023, www.kernd.de

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9440D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: SAT Kerntechnik GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen, TP: Praxisversuche und Verifizierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 68.468,59 €
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 der Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberfläche, welche für eine erfolgreiche Freimessung dekontaminiert werden muss. Üblicherweise erfolgt die Dekontamination durch das Abtragen der Oberfläche, bis zu der Tiefe, ab der keine Kontamination mehr vorliegt.

Die Gespräche mit Rückbaufirmen und Kernkraftwerksbetreibern haben ergeben, dass insbesondere die Ecken- und Innenkantendekontamination bisher mit handgeführten Geräten durchgeführt wird. Werkzeuge wie zum Beispiel Nadelpistolen, Stock- und Schleifgeräte entsprechen dem heutigen Stand der Technik. Diese Geräte werden ursprünglich für Sanierungsarbeiten eingesetzt und sind demnach nicht speziell für die Dekontamination von Gebäuden entwickelt worden. Neben der geringen Flächenleistung der Geräte, der unebenen Oberfläche die hinterlassen wird und der hohen körperlichen Belastung für die Arbeiter, trägt auch die fehlende Absaugung zur begrenzten Eignung bei. Die fehlende Absaugung wird kompensiert durch die Verwendung von zusätzlichen Industriestaubsaugern, was die ohnehin schon komplexe und langwierige Arbeit zusätzlich aufwändiger macht.

Um diesen Schwierigkeiten und Problemen entgegenzuwirken und eine verbesserte Lösung für die Dekontamination der Ecken und Innenkanten zu liefern, wird zum aktuellen Zeitpunkt das Projekt „EKont“ durchgeführt. Ziel dieses Projektes ist es die Leistungsparameter der aktuell verwendeten Geräte zu untersuchen und Verbesserungsmöglichkeiten zu finden. Hierfür wurden bereits mehrere Demonstratoren entwickelt und in einem Versuchsaufbau erprobt. Da mögliche Verbesserungen bei diesem Projekt aufgetreten sind, soll ein weiteres Forschungsprojekt angestoßen werden, welches an das bestehende EKont-Projekt anknüpft.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1:	(01.07.2023 – 31.07.2023):	Projektstart
AP 2:	(01.08.2023 – 29.02.2024):	Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster
AP 3:	(01.03.2024 – 31.07.2024):	Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand
AP 4:	(01.08.2024 – 31.12.2024):	Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse
AP 5:	(01.01.2025 – 31.07.2025):	Optimierung der Versuchsmuster und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung
AP 6:	(01.08.2025 – 31.10.2025):	Versuche vor Ort
AP 7:	(01.11.2025 – 31.03.2026):	Optimierung der Versuchsmuster
AP 8:	(01.04.2026 – 30.06.2026):	Dokumentation und Evaluation

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

AP 1: Projektstart

Zum Projektstart wurde mit allen Projektpartnern das abgeschlossene Ekont- Projekt aufgearbeitet und analysiert, um Erkenntnisse für das Folgeprojekt zu generieren. Dies wurde durch ein Projekttreffen bei der Firma Contec Maschinenbau GmbH realisiert, bei dessen Gelegenheit eine Führung durch das Firmengelände stattfand mit Vorstellung von verschiedenen technischen Geräten der Beton- und Oberflächenbearbeitung, die für den potenziellen kerntechnischen Einsatz in Betracht kommen.

Im Projekttreffen wurden die entwickelten Demonstratorwerkzeuge näher diskutiert und Vor- und Nachteile aufgeschlüsselt. Insbesondere die im Erstprojekt durchgeführten Praxiserprobungen lieferten hierbei interessante Ergebnisse.

Unter diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen wurde die Weiterentwicklung geplant, Verbesserungspotential identifiziert und Gesamtkonzepte konzipiert.

Das Arbeitspaket 1: Projektstart mit einer Kurzlaufzeit von einem Monat wurde erfolgreich abgeschlossen und eine planmäßige Weiterarbeit an Arbeitspaket 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster kann stattfinden.

AP 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster

Im August 2023 wurde mit der Entwicklung der neuen Versuchswerkzeuge begonnen. Hierbei wurde auf den Erkenntnissen des Erstprojekts das neue Werkzeug konzipiert. Hierbei fand eine grundlegende Neukonzipierung und Verbesserung aller Bestandteile (Trägergerät, Einhausung & Diamantscheiben) des Werkzeugs statt. Das Träger- und Antriebswerkzeug wurde ersetzt durch ein dem modernsten Stand der Technik entsprechenden Winkelschleifer der Firma Bosch. Momentan wird hierfür der Typ Bosch GWS 18V-15 SC verwendet, der modular verwendbar ist und über einen Akkuantrieb verfügt. Die Einhausung des Werkzeugs wurde komplett neu konstruiert und erstmalig durch die KIT-Werkstatt aus CNC-bearbeitetem Aluminium gefertigt. Dies verringert das Einhausungsgewicht um ca. 51% und durch die Massivbauweise konnte die Einhausung komplett ohne Schweißverbindungen hergestellt werden. Die Diamantscheiben wurden durch die Contec GmbH bearbeitet. Hierfür wurden die bisher verwendeten Diamantscheiben per Laserzuschnitt in Kombination mit den neuen Konstruktionszeichnungen deutlich leichter gestaltet. Zuarbeit der SAT erfolgte in regelmäßiger bilateraler Abstimmung mit

Fa. Contec. Die Auswirkungen auf die Staubmenge und Staubzusammensetzung sowie die Kühlung der Scheiben wird in AP 4 betrachtet, wird jedoch als positiv eingeschätzt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2: In den folgenden sechs Monaten soll Arbeitspaket 2 abgeschlossen werden und die neu entwickelten Versuchsmuster sollen gefertigt werden. Dies ist zum aktuellen Zeitpunkt bis zum geplanten Arbeitspaket-Ende Februar realisierbar.

AP 3: Die Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand soll ab März 2024 erfolgen. Hierfür müssen ein oder mehrere Adapterstücke angefertigt werden, um einen Betrieb der neu entwickelten Werkzeuge im Versuchsstand zu ermöglichen. Die SAT wird hier wieder Zuarbeiten und unter anderem bei der Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung mitwirken. Das erste Projekttreffen in 2024 findet bei der SAT Kerntechnik GmbH statt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- KONTEC, Postervortrag: „Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Geräts für eine trockenmechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen“, 30.08 – 01.09.2023, Dresden
- SafeND Forschungssymposium, Plenarvortrag: „EKONT-2: Advancement of a demonstrator for dry-mechanical decontamination of corners and inner edge in nuclear facilities“, 13.09. – 15.09.2023, Berlin
- ATW-Journal, Magazinbeitrag: “Entwicklung eines Werkzeugs zur mechanischen Innenkanten- und Eckendekontamination“, 01.11.2023, www.kernd.de

Berichtszeitraum: 01.10.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9444A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB)	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung eines Beprobungssystems inklusive qualitätsgesichertem Beprobungsverfahren für nicht zugängliche Bereiche, TP: Aufbau eines Versuchstandes und Untersuchungen zu möglichen Beprobungs- und Ausbauoptionen von Rohrleitungen inkl. Entwicklung eines qualitätsgesichertem Beprobungsverfahrens	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2023 bis 30.09.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 739.596,87 € (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 Beprobungssystems inklusive qualitätsgesichertem Beprobungsverfahren für nicht zugängliche Bereiche (Bero)“ in Kooperation des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der IBASS GmbH ist die Entwicklung eines Systems, welche die bis zu 1,2 m tief im Stahlbeton liegenden Kunststoffrohre (8-15 cm Durchmesser) aus Polypropylen der Leitungssysteme der Gebäudeentwässerung von Leistungsreaktoren beproben kann. Das primäre Ziel ist die Freigabe dieser Rohre in Einbaulage, damit die Bodenplatte als Gesamtsystem zurückgebaut werden kann. Um eine solche Beprobung durchführen zu können ist es von wesentlicher Bedeutung, dass das zu entwickelnde System einen definierten Abtrag an einer genauen Position erzielen und das gesamte Material einsammeln und unverfälscht zur Messung transportieren kann. Des Weiteren soll in diesem Vorhaben untersucht werden, wie und ob ein effizienter Ausbau der betroffenen Rohre, ohne die umgebende Betonstruktur abbauen zu müssen, möglich wäre, falls eine Freigabe in Einbaulage nicht erteilt werden kann.

Damit diese Ziele des Verbundvorhabens erreicht werden können, müssen Versuchsstände aufgebaut und Untersuchungen zu Beprobungs- sowie Ausbauoptionen durchgeführt und analysiert werden. Ebenso muss ein qualitätsgesichertes Beprobungsverfahren entwickelt werden. Zudem muss ein innovatives Trägersystem inklusive Beprobungs- und Ausbaupopf für diese nicht zugänglichen Bereiche konstruiert und hergestellt werden. Das entwickelte System wird dabei so konzipiert, dass es fernhantiert die Rohrleitungen befahren kann, die exakten Daten für die Beprobung (Position, Abtragtiefe, Materialmenge, Abtraggeometrie, etc.) einzustellen sind und das abgetragene Material vollständig abtransportiert werden kann.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP0: Projektbegleitende Beratung
- AP1: Grundlagenanalyse und Recherche geeignetes Abtragsverfahren
- AP2: Prozessanalyse und Lastenheft
- AP3: Aufbau Versuchstand inklusive Analysesensorik
- AP4: Entwicklung und Konstruktion Trägersystem inklusive Befestigungssystem

- AP5: Experimentelle Versuchsreihen 1
- AP6: Herstellung Trägersystem und Vorplanung Beprobungs- und Ausbalkopf
- AP7: Experimentelle Versuchsreihen 2
- AP8: Konstruktion finaler Beprobungs- und Ausbalkopf inklusive Herstellung und Zusammenführung aller Komponenten
- AP9: Umbau Versuchstand TMB
- AP10: Praktische Versuchsreihe mit Prototyp
- AP11: Dokumentation

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

In den ersten drei Monaten des Projekts wurde am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) zunächst AP1 (Grundlagenanalyse und Recherche) bearbeitet. Hierbei lag der Fokus auf der Recherche, welche zum einen zu den verbauten Rohrleitungen (Durchmesserbereich, Material, Wandstärke), zum anderen zu möglichen Abtragsverfahren durchgeführt wurde. Hierfür wurde vorgehend zu AP2 bereits eine Vorabrecherche zur Beschaffung der Abtragwerkzeuge sowie der Werkstücke durchgeführt und bereits kleinere Mengen an Rohrleitungen für erste Vortests gekauft. Parallel dazu wurden erste Überlegungen zu Verfahren für einen möglichen Ausbau der Rohre durchgeführt. Zudem wurde im Oktober ein Kick-off-Meeting durchgeführt. Neben wesentlichen Punkten zum Projektablauf wurden u. a. auch die ersten Ergebnisse der Recherche bestätigt. Weiter wurde ein Treffen im Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich für das erste Quartal 2024 vereinbart, um die durchgeführte Recherche vor Ort zu überprüfen und um sich frühzeitig ein Bild der Realbedingungen zu machen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im letzten geplanten Monat zu AP1 sollen die Rechercheergebnisse zusammengefasst und eine Bewertungsmatrix der verschiedenen Abtragsverfahren aufgestellt werden. Hierfür werden die Ergebnisse der ersten Vortests ausgewertet sowie die Eindrücke Vor-Ort in Mülheim-Kärlich, welches Anfang 2024 stattfinden wird, mit einbezogen. Anschließend an AP1 werden in AP2 die bisherigen Ergebnisse bzw. Randbedingungen/ Haupteinflussparameter für den Demonstrator in einem Lastenheft dokumentiert. Das Lastenheft wird im Laufe des Projektes aktualisiert und fortgeschrieben. Um die Zielerreichung des Projekts zu gewährleisten, werden die zusammengetragenen Anforderungen und Ergebnisse des Lastenheftes mit den kostenneutralen Partnern RWE und PreussenElektra abgestimmt. Zudem wurde vorgehend angefangen (AP 3) der Aufbau des Versuchstandes, sowie die Auswahl und Anbringung der Sensorik zu planen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Ein Beitrag auf der Kerntechnik im Juni 2024 in Leipzig ist geplant. Hierfür wurde bereits ein Abstract eingereicht. Zudem wird das Projekt in einer Kurzvorstellung auf der Homepage des TMBs präsentiert unter: https://www.tmb.kit.edu/Forschungsprojekte_7907.php

Berichtszeitraum: 01.10.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9444B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: IBASS GmbH & Co.KG	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung eines Beprobungssystems inklusive qualitätsgesichertem Beprobungsverfahren für nicht zugängliche Bereiche, TP: Konstruktion und Herstellung eines innovativen Trägersystems inkl. Beprobungs- und Ausbaukopf für Rohrleitungen in nicht zugänglichen Bereichen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2023 bis 30.09.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 148.191,00 €
Projektleiter/-in: Dipl.-HTL-Ing. Michael Strasser	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: mstrasser@ibass.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Gesamtziel im Verbundvorhaben „Entwicklung eines Beprobungssystems inklusive qualitätsgesichertem Beprobungsverfahren für nicht zugängliche Bereiche (Bero)“ in Kooperation des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der IBASS GmbH & Co.KG ist die Entwicklung eines Systems, welche die bis zu 1,2 m tief im Stahlbeton liegenden Kunststoffrohre (8-15 cm Durchmesser) aus Polypropylen der Leitungssysteme der Gebäudeentwässerung von Leistungsreaktoren beproben kann. Das primäre Ziel ist die Freigabe dieser Rohre in Einbaulage, damit die Bodenplatte als Gesamtsystem zurückgebaut werden kann. Um eine solche Beprobung durchführen zu können ist es von wesentlicher Bedeutung, dass das zu entwickelnde System einen definierten Abtrag an einer genauen Position erzielen und das gesamte Material einsammeln und unverfälscht zur Messung transportieren kann. Des Weiteren soll in diesem Vorhaben untersucht werden, wie und ob ein effizienter Ausbau der betroffenen Rohre, ohne die umgebende Betonstruktur abbauen zu müssen, möglich wäre, falls eine Freigabe in Einbaulage nicht erteilt werden kann.

Damit diese Ziele des Verbundvorhabens erreicht werden können, müssen Versuchsstände aufgebaut und Untersuchungen zu Beprobungs- sowie Ausbauoptionen durchgeführt und analysiert werden. Ebenso muss ein qualitätsgesichertes Beprobungsverfahren entwickelt werden. Zudem muss ein innovatives Trägersystem inklusive Beprobungs- und Ausbaukopf für diese nicht zugänglichen Bereiche konstruiert und hergestellt werden. Das entwickelte System wird dabei so konzipiert, dass es fernhantiert die Rohrleitungen befahren kann, die exakten Daten für die Beprobung (Position, Abtragtiefe, Materialmenge, Abtraggeometrie, etc.) einzustellen sind und das abgetragene Material vollständig abtransportiert werden kann.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP0: Projektbegleitende Beratung
- AP1: Grundlagenanalyse und Recherche geeignetes Abtragsverfahren
- AP2: Prozessanalyse und Lastenheft
- AP3: Aufbau Versuchstand inklusive Analysesensorik
- AP4: Entwicklung und Konstruktion Trägersystem inklusive Befestigungssystem
- AP5: Experimentelle Versuchsreihen 1
- AP6: Herstellung Trägersystem und Vorplanung Beprobungs- und Ausbaukopf

AP7: Experimentelle Versuchsreihen 2

AP8: Konstruktion finaler Beprobungs- und Ausbaukopf inklusive Herstellung und Zusammenführung aller Komponenten

AP9: Umbau Versuchstand TMB

AP10: Praktische Versuchsreihe mit Prototyp

AP11: Dokumentation

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

In den ersten drei Monaten des Projekts hat die IBASS die notwendigen Unterlagen zusammengetragen, um mit der Auslegung des Roboter Systems anfangen zu können. Nach dem Kick-off Meeting am 12.10.2023 traf man sich im KKW Mülheim-Kärlich am 15.01.2024 mit dem Vertreter der RWE Hr. Neumeister, der uns die notwendigen Unterlagen zur Verfügung gestellt hat und die vor Ort Bedingungen präsentierte.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Nach den nun gewonnen Erkenntnissen wird IBASS mit seinem Partner für Kunststoffe sprechen, die auch viel Erfahrung mit der Bearbeitung von Kunststoffen und im speziellen von PP-Rohren haben. Wenn alle Grundlagen vorliegen, wird mit der Auslegung des Roboter Systems begonnen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Projektpartner wird diesen Beitrag in Vertretung leisten:

Ein Beitrag auf der Kerntechnik im Juni 2024 in Leipzig ist geplant. Hierfür wurde bereits ein Abstract eingereicht. Zudem wird das Projekt in einer Kurzvorstellung auf der Homepage des TMBs präsentiert unter: https://www.tmb.kit.edu/Forschungsprojekte_7907.php

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9409A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V.	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung einer Methode zur Pre-Aktivitäts- und Dosisleistungsberechnung von reaktornahen Bauteilen auf Basis von Neutronenfluenzverteilungen, TP: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung in reaktornahen Bauteilen und deren Validierung an Experimenten als Basis der Aktivitätsrechnungen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2018 bis 31.03.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 886.828,31 €
Projektleiter/-in: Jörg Konheiser	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: j.konheiser@hzdr.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Realisierung des Vorhabens erfolgt in mehreren aufeinander abgestimmten Arbeitspaketen (AP). AP 1 (teilweise), 2 und 3 werden in diesem und AP 4 und 5 im anderen Teilprojekt bearbeiten.

AP 1: Erstellung des Geometriemodells

AP 2: Berechnung der Neutronenfluenzverteilung und deren Spektren

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

AP 3: Neutronenfluenzmessungen

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 1: Entsprechend den Erkenntnissen aus den Sensitivitätsanalysen und den Testrechnungen wurden die Rechenmodelle angepasst. So wurden die Positionen der Monitore an Hand von Fotos korrigiert und auch Erweiterungen des Geometriemodelles vorgenommen, um mögliche Abschirmungen von Komponenten bei den Monitoren zu berücksichtigen.

AP 2: Mit dem korrigierten und erweiterten Modell wurden die Positionen der Monitore neu berechnet und entsprechende Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Es zeigte sich, dass sich kleine Ortsverlagerungen der Monitore deutlich auf die berechneten Neutronenfluenzen und damit auch auf die Monitoraktivitäten auswirken. Dadurch konnte eine bessere Übereinstimmung zwischen den berechneten und gemessenen Aktivitäten erzielt werden. Leider konnte dieses nicht in allen Positionen erreicht werden. Die Ursache wurde noch nicht gefunden.

AP 3: Die Aktivierungen der Monitore aus Referenzkraftwerk 2 wurden mittels Gammaskpektrometrie gemessen.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 1: ist abgeschlossen.

AP 2: Zur Minimierung der Differenzen zwischen berechneten und gemessenen Aktivitäten werden weitere Optimierungen der Rechnungen durchgeführt.

AP 3: Der letzte Satz Monitore aus dem Bestrahlungskanal des Referenzkraftwerkes 2 konnte wegen ihrer hohen Aktivität noch nicht transportiert werden, so dass deren Messung noch aussteht. Ob die Messungen noch innerhalb der Projektlaufzeit durchgeführt bzw. abgeschlossen werden können, ist ungewiss. Unabhängig davon werden die Aktivierungsmessungen abgeschlossen, um wie geplant für das Nachfolgeprojekt zur Verfügung zu stehen. Für ausgewählte Monitore wird Nb-93m (Aktivierungsprodukt aus Nb) mittels LSC bestimmt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

WERREBA Projekt (bereits Abgeschlossen)

6. Berichte und Veröffentlichungen

Rachamin, R.; Barkleit, A.; Konheiser, J.; Seidl, M.: "Estimation of neutron fluence distribution within German PWR components for decommissioning studies", Proc. of The Seventeenth International Symposium on Reactor Dosimetry (ISRD-17), Lausanne, Switzerland, 21.-26.05.2023. (Best Poster Award)

Yadav, P., Rachamin, R., Konheiser, J.: “Weight values for MCNP calculations based on Recursive Monte-Carlo method”, Proc. of 2023 ANS Annual Meeting, Indianapolis, IN, USA, June 11–14, 2023 - Invited Lecture.

Yadav, P., Rachamin, R., Konheiser, J., Baier, S.: “Generation of Optimal Weight Values Based on the Recursive Monte Carlo Method for Use in Monte Carlo Deep Penetration Calculations”, Nucl. Eng. Des. (2023). <https://doi.org/10.1080/00295639.2023.2211199>

Barkleit, A.; Rachamin, R.; Pönitz, E.; Konheiser, J.: „Experimentelle und rechnerische Bestimmung der Aktivierung für die Rückbauplanung von Kernkraftwerken“, 55. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, 10.-11.10.2023, Dresden, Deutschland, Vortrag.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9431A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hellma Materials GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, TP: Gerätebau und -entwicklung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 531.345,50 €
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 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

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

4.5 Datenfusionierung mit Zusatzgeräten (2/2023-8/2023)

4.6 Datenvisualisierung (5/2023-8/2023)

AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen

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

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

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

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

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

Abgeschlossene Arbeitspakete:

AP 1, 2

Abgeschlossene Programmpunkte:

AP 3.1 bis 3.5

AP 4.1 bis 4.3

Laufende Programmpunkte:

AP 3.6 bis 3.8

AP 4.4 bis 4.6

AP 5.1 bis 5.4

Projektmeetings und Konferenzen:

- 6. Projektmeeting 26.-27.09.23 in Hamburg
- Poster auf dem Kontec Symposium in Dresden 30.08.-1.09.23
- Vortrag auf der Applied Inverse Problems Konferenz Göttingen 4.-8.09.23

Für das Projekt getätigte Investitionen:

- Anfertigung der mechanischen Baugruppe für den RSL4
- Wolframelektroden zur Verwendung als Thorium-Kalibrierquelle

In diesem Berichtszeitraum lag der Schwerpunkt der Arbeiten auf den Arbeitspaketen 4 und 5. Gemäß dem neuen Meilenstein 3b werden die Arbeiten in **AP 3** fortgeführt, welche der Fertigstellung des dritten Prototyps (RSL4) dienen. Der Aufbau der mechanischen Baugruppe des RSL4 ist abgeschlossen (siehe Abb. 1). Zur Anfertigung der Baugruppe wurden Leistungen bei der Lastronics GmbH beauftragt, welche fristgerecht erbracht wurden. Derzeit werden die Detektoren und die Elektronik in die Baugruppe eingebaut. Zwei der für den RSL4 vorgesehenen Cerbromid-Detektoren werden dem RSL2 Gerät entnommen, das während des Berichtszeitraums noch beim Projektpartner HSZG für Arbeiten in **AP 4** im Einsatz war. In Abstimmung mit den Projektpartnern wurde dem Abschluss der Messaufgaben von AP 4, insbesondere auch in Hinblick auf die Fertigstellung der Masterarbeit von Tobias Rieger, Vorrang eingeräumt. Dementsprechend wurde der RSL2 am 26.10.23 von Zittau nach Jena überführt. Damit liegen jetzt alle für den RSL4 benötigten Komponenten in Jena vor und werden derzeit zum dritten Gerät zusammengefügt. Der RSL4 soll auf dem Abschluss-Workshop am 25.04.24 in Dresden-Rossendorf präsentiert werden.

In **AP 4** wird – in enger Kooperation mit dem Projektpartner HSZG – die Bildrekonstruktions-Software weiterentwickelt (**AP 4.4**) und mit einer graphischen Benutzeroberfläche visualisiert (**AP 4.6**). Hierzu werden im Strahlenlabor der Hochschule Versuche mit den beiden fertiggestellten Geräten RSL2 und RSL7 durchgeführt, die dann von uns ausgewertet und visualisiert werden. Abb. 3, 4 und 5 zeigen einige der aktuellen Versuchsergebnisse.



Abb 1. Das im Aufbau befindliche RSL4 Messsystem mit einer Rotationsvorrichtung und Halterungen für 4 Detektoren in einer Kohlefasertubus-Umhausung. Auf der Vorderseite ist eine Weitwinkelkamera angebracht.

In **AP 4.5** wird eine Bildüberlagerung entwickelt, welche die Flussdichten der Gamma-strahlung auf dem Foto einer Weitwinkelkamera zeigt, die am RSL7 Gerät angebracht ist. Die Bildüberlagerung wird in die graphische Benutzeroberfläche (siehe Abb. 4) integriert, wodurch die Interpretation des Bildes sehr erleichtert wird, da kontaminierte Pixel dann unmittelbar den jeweiligen Objekten zugeordnet werden können. Abb. 2 zeigt eine erste Aufnahme der Weitwinkelkamera, die einen Eindruck vom Sichtbereich der Kamera vermittelt.



Abb 2. Weitwinkelfoto eines Büroraums bei Hellma Materials (als Illustration der in AP 3.7 und AP 4.5 ausgeführten Arbeiten).

In **AP 5** organisiert der Projektpartner VKTA eine Messkampagne mit dem RSL7 im Kernkraftwerk Rheinsberg, die Anfang März 2024 stattfinden soll. Wir beteiligen uns an den Vorbereitungen und bereiten den RSL7 einschließlich der Software für den Einsatz vor. Zu diesem Zweck wurde der RSL7 am 21.12.23 von Herrn Lösch nach Jena gebracht. Damit liegen jetzt beide Geräte wieder in Jena vor.

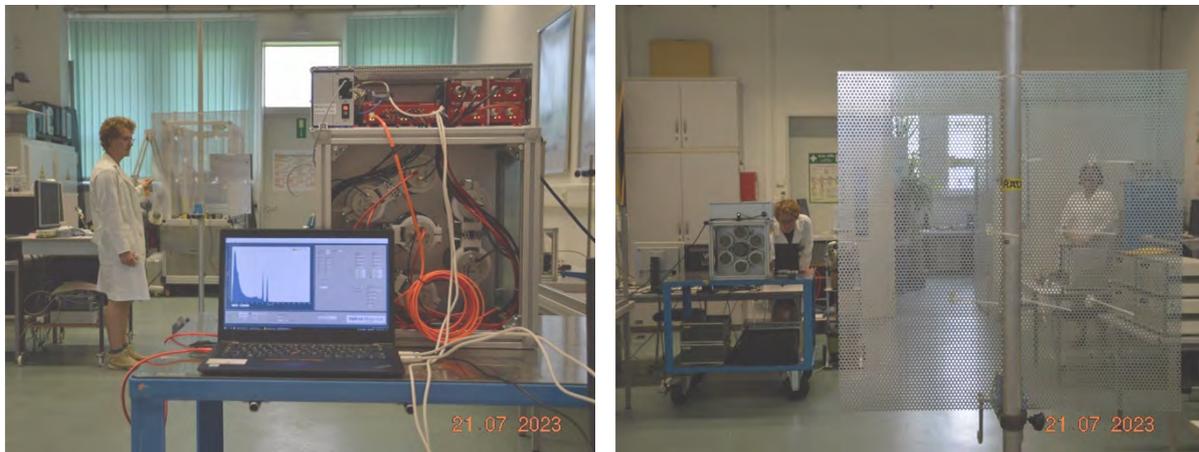


Abb 3. Versuche im HSZG-Strahlenlabor vom 21. Juli 2023 mit einem Flächenstrahler, der aus acht Co-60 Punkt-quellen (8x 18 MBq) zusammengesetzt ist. Die Versuche wurden von Tobias Rieger, Masterstudent im QGRIS-Projekt, durchgeführt. Der Laptop zeigt das markante Co-60 Gammaskpektrum mit zwei gut aufgelösten Peaks.

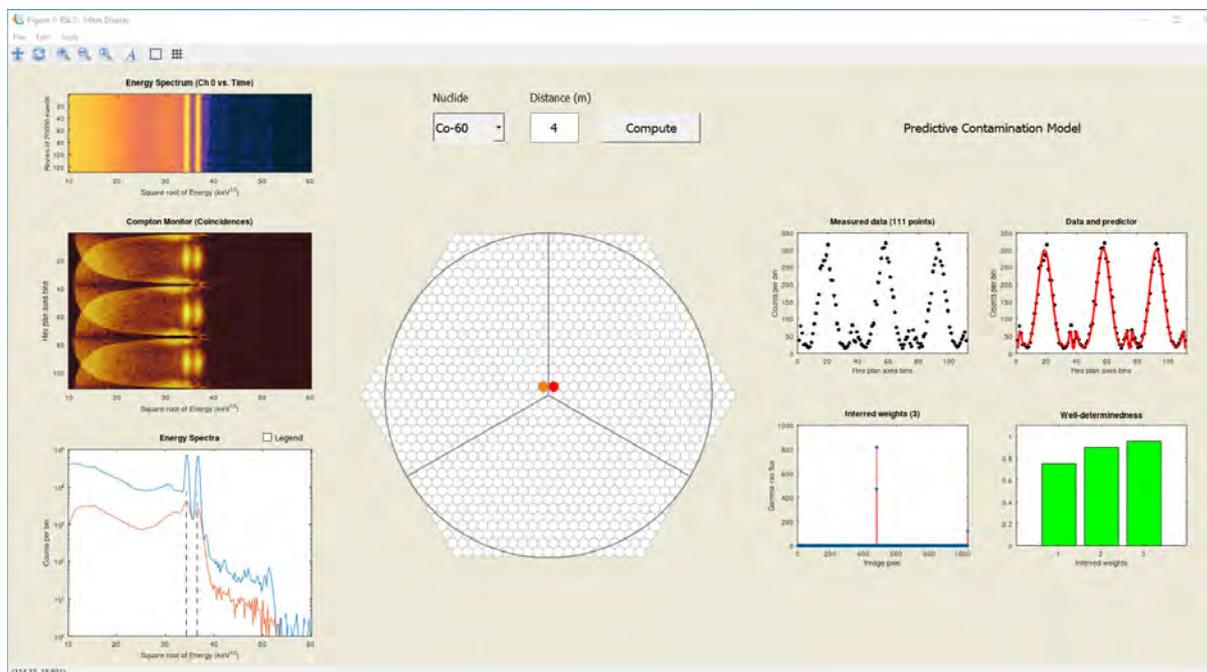


Abb 4. Screenshot der RSL7 Benutzeroberfläche zu dem in Abb. 3 gezeigten Versuch mit einem ca. 30 cm x 30 cm großen Flächenstrahler in 4 m Entfernung vor dem Gerät (Messzeit 13 min). In der linken Spalte sind Gammaskpektren in mehreren Darstellungen, als Häufigkeitsverteilung (unten) und als Wasserfalldiagramm (oben) zu sehen. Die mittlere Grafik der linken Spalte zeigt den sogenannten Compton Data Space, eine 2-dimensionale Datenstruktur aller aufgezeichneten Koinzidenzereignisse, aus denen das Kamerabild berechnet wird (mittig dargestellt). Die Plots

rechts vom Kamerabild illustrieren, wie das Kamerabild berechnet wurde und zeigen Qualitätsmerkmale an, wie gut die Übereinstimmung zwischen der Modellierung (rote Kurve) mit dem Compton Data Space (schwarze Punkte) ist. Das Kamerabild und die rote Kurve sind einander äquivalente Darstellungen in unterschiedlichen Datenräumen.

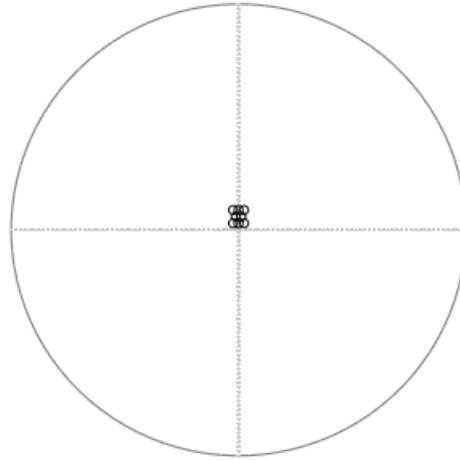


Abb 5. Die Versuchsanordnung von Abb. 3 mit acht Co-60 Punktquellen dargestellt in der Kameraprojektion. Das Sichtfeld hat eine Größe von 180° , d.h. es zeigt den gesamten Halbraum vor dem RSL7. Die Darstellung kann mit dem Kamerabild von Abb. 4 verglichen werden und dient der Qualitätskontrolle bei der Einschätzung der Abbildungsqualität. Im Rahmen der Auflösung wurde nicht erwartet, dass die acht Punktquellen einzeln aufgelöst werden können. Die Ausdehnung der aktiven Fläche von ca. 30 cm x 30 cm wurde hinreichend gut erkannt und überdeckt lediglich zwei Pixel in Abb. 4. In diesem Versuch lag der Mittelpunkt der Flächenquelle mittig in x-Richtung und in y-Richtung 30 cm oberhalb der optischen Achse. Beides wurde korrekt erkannt.

Zusammenarbeit im Projektverbund

Wir haben an zwei Messkampagnen im HSZG-Strahlenlabor teilgenommen, welche vom 17. bis 21. 7. und vom 23. bis 26. 10. 2023 in Zittau stattfanden. Bei beiden Besuchen fanden begleitende Arbeitstreffen statt, an denen jeweils auch VKTA Mitarbeiter teilnahmen.

Am 26./27. September 2023 fand das 6. QGRIS Projektmeeting am DESY in Hamburg statt. Zuvor war vereinbart worden, ab sofort 2-tägige Projektmeetings abzuhalten, um den größer gewordenen Gesprächs- und Koordinationsbedarf abdecken zu können.

Weiterbildung von Projektmitarbeitern

Frau Dr. Petrak nahm vom 18. bis 20. Oktober 2023 am Fachgespräch Strahlungsmesstechnik und am Spektrometrie-Kurs der Mirion Technologies GmbH in Leipzig teil. Herr Selle belegte am 13. Dezember 2023 den Fachkundekurs „Genehmigungsbedürftige Beschäftigung in fremden Anlagen“ an der Strahlenschutz-Akademie Dresden.

Außendarstellung des QGRIS-Projekts

Mehrere Projektpartner einschließlich der Hellma Materials GmbH nahmen vom 30. August bis 1. September 2023 am internationalen Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ KONTEC in Dresden teil. Es wurde ein gemeinsames Poster zum QGRIS-Projekt präsentiert. Das Symposium bot zahlreiche Gelegenheiten zu interessanten

Fachgesprächen und dem Knüpfen neuer Kontakte. Es erlaubte uns, einen tieferen Einblick in die Rückbau-Branche, die Prozessabläufe, der am Markt etablierten Strahlungsmesstechnik und neuen Entwicklungen zu gewinnen.

Anfang September 2023 fand in Göttingen die Applied Inverse Problems Konferenz statt, auf der die DESY-Gruppe von Prof. Burger ein Minisymposium zum Thema „Inverse Problems in Radiation Protection and Nuclear Safety“ organisierte. Das QGRIS-Projekt wurde in insgesamt 3 Vorträgen von Lorenz Kuger und Michelle Bruch von der DESY-Gruppe und von Dr. Sibylle Petrak von der Hellma Materials GmbH vorgestellt. Weitere Vorträge behandelten ein bildgebendes Prüfsystem zur Überprüfung abgebrannter Brennstäbe vor der finalen Einlagerung in das finnische Endlager Olkiluoto bei Eurajoki und Vorträge zu mathematischen Fragestellungen von Compton Kameras. Der besondere Wert des Minisymposiums war, dass die Aufmerksamkeit der an der Konferenz teilnehmenden Mathematiker auf nukleare Themen gelenkt wurde und inverse Probleme der Nuklearphysik als für Mathematiker interessantes Betätigungsfeld diskutiert wurden.

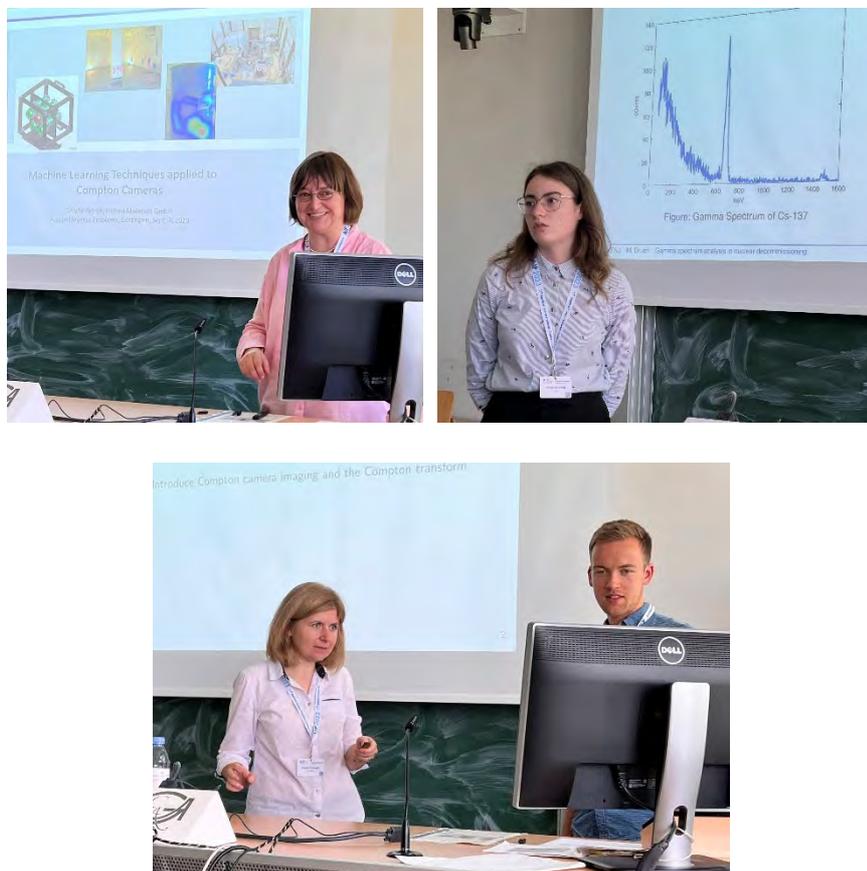


Abb 6. Präsentation des QGRIS Projekts auf der Applied Inverse Problems Konferenz 2023 in Göttingen.

Das Minisymposium „Inverse Problems in Radiation Protection and Nuclear Safety“ wurde von Lorenz Kuger moderiert. Dr. Sibylle Petrak, Michelle Bruch und Lorenz Kuger präsentierten ihre Arbeiten.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Arbeiten zu AP 3 und AP 4 sind weitgehend abgeschlossen und sollen in Bälde fertiggestellt werden. Mit den Arbeiten zu AP 5 wurde begonnen. Im Einzelnen ist Folgendes geplant:

Meilenstein 3b: Fertigstellung und Inbetriebnahme des RSL4 bis zum 25.4.24, Präsentation auf dem Abschluss-Workshop.

Weiterarbeit in **AP 5.2:** In KW 10 wird eine Messkampagne im Kernkraftwerk Rheinsberg stattfinden, an der drei Projektpartner (VKTA, HSZG, Hellma) teilnehmen werden. Es können jeweils nur 3 Personen Einlass erhalten. Gemäß den aktuellen Planungen ist vorgesehen, dass am 6. und 7. März 2024 das Dreier-Team von Frau Dr. Petrak und Herrn Selle in Begleitung von Herrn Lösch gebildet wird. Herr Selle ist für die Anschaffung von Strahlenpässen, Dosimetern und die Einholung behördlicher Genehmigungen zuständig.

Weiterarbeit in **AP 5.3:** Es liegt eine Kalibrationssoftware vor, mit der insbesondere die Plastik-Szintillationsdetektoren, welche aufgrund des Fehlens von Photo-Peaks im Gamma-spektrum und der stark ausgeprägten Nichtlinearität erhöhte Anforderungen an die Kalibration stellen, schnell und zuverlässig kalibriert werden können. Für das Kalibrationsverfahren wird eine Thorium-Kalibrierquelle aus Wolframelektroden hergestellt, die speziell für den RSL7 konstruiert ist und im praktischen Betrieb erprobt werden soll.

Weiterbildung: Frau Dr. Petrak wird am 18. März 2024 am VDI-Spezialtag „Radiologische Charakterisierung von Abfällen“ in Düsseldorf teilnehmen.

Zusammenarbeit im Projektverbund: Das nächste und letzte Projekttreffen ist für den 24. April 2024 beim Projektpartner VKTA in Dresden-Rossendorf geplant.

Abschluss-Workshop: Im Anschluss an das 7. Projekttreffen wird am 25. April 2024 in Dresden-Rossendorf der Abschluss-Workshop zum QGRIS-Projekt stattfinden. Es wird eine Gästeliste erstellt, um Vertreter aus dem interessierten Fachpublikum für eine Teilnahme am Workshop zu gewinnen.

FORKA Statusseminar: Am 10. und 11. April 2024 werden alle vier Projektpartner gemeinsam das QGRIS-Projekt auf dem FORKA Statusseminar in Berlin präsentieren.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Burger, M., et al.: „Multiple Scatter Correction for Single Plane Compton Camera Imaging in Nuclear Decommissioning“, Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics 23 (2023), <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pamm.202300281>

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S59431B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	
Vorhabenbezeichnung: VP: QGRIS - Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, TP: Bildrekonstruktionsverfahren	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 321.192,00 €
Projektleiter/-in: Prof. Martin Burger	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Martin.burger@uni-hamburg.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 Radio-nuklide 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 Arbeitsprogrammpunkten)

Der Schwerpunkt der Arbeiten im 2. Halbjahr 2023 lag auf der Fortentwicklung der Rekonstruktionssoftware mithilfe der gewonnenen Erkenntnisse aus den praktischen Messungen im Strahlenlabor Zittau und Messstand des VKTA. Im Zentrum standen der Abschluss von AP 4.4 und die Fortsetzung mit AP 5.3 im Rahmen der durchgeführten Messungen. Bis zur erfolgreichen Bildgebung waren folgende Fragestellungen und dazu verwandte Aspekte über die bisher implementierten Rekonstruktionsalgorithmen hinaus zentral:

1. **Modellierung:** Welche Fehler zwischen Vorwärtsmodell und reeller Messung bleiben (unabhängig von Auflösungsgrenzen und Untergrundstrahlung) bestehen und können nicht im Vorwärtsmodell berücksichtigt werden?
 - a. Optimierung der (CPU-)Laufzeit, um Mehrfachstreuung effizienter berechnen zu können. Die bisherigen Implementierungen wurden weiter optimiert.
 - b. Quantifizierung der Modellfehler durch Vergleich zwischen verschiedenen analytischen Vorwärtsmodellen und unterschiedlich genauen, mithilfe von Monte Carlo Simulationen berechneten Modellen. Eine günstige Version von stark parallelisierbaren Monte Carlo Simulationen wurde entwickelt, um hocheffizient (im Vergleich zu vollständigen ray tracing Monte Carlo tools) eine Approximation an die Modellfehler schätzen zu können.
 - c. Techniken zur Verbesserung der Rekonstruktion durch Kombination von analytischen und Monte Carlo Modellen, sowie Quantifizierung der nicht entfernbaren Unsicherheit durch Modellfehler. Mit diesem Punkt wurde gegen Ende des Halbjahres in Kooperation mit der Computational Imaging Gruppe der Technischen Universität Dänemarks begonnen, ein schematischer Algorithmus wurde entwickelt und wird derzeit getestet.
2. **Rekonstruktion:** Welche Schritte sind zu einem praxistauglicheren Modus der Rekonstruktion notwendig?
 - a. Wahl von freien Parametern (z.B. Untergrundschätzung, Regularisierungsstärke, Filtern der Daten auf Fehlkoinzidenzen): Nachdem die Wahl von Rekonstruktionsparametern an der HSZG strukturiert untersucht wurde, wurden automatisierte Techniken konzipiert.
 - b. Zusammenspiel Spektrenentfaltung und Rekonstruktion aus den in der Entfaltung erkannten Nukliden. Mit der Umsetzung der beiden Schritte nacheinander in der Software wurde begonnen. Die Integration beider Schritte in einem einzigen Rekonstruktionsproblem wurde konzipiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Die Integration von Nuklidentfaltung, Bildrekonstruktion und gleichzeitiger Berücksichtigung von hohem Niveau von Untergrundstrahlung bleibt ein herausforderndes theoretisches Problem. Verschiedene Lösungsansätze sollen weiterverfolgt werden und verschiedene Modifikationen der bisherigen, implementierten Methoden müssen bis zur Marktreife eines Kameramoduls in Betracht gezogen werden.

Die Schätzung von Modellfehlern erlaubt potentiell die Rekonstruktion von Informationen über ein einzelnes Aktivitätsbild hinaus: Insbesondere die Quantifizierung von Unsicherheit in der Rekonstruktion ist hier von Bedeutung für die Praxisanwendung. Die theoretischen Grundlagen zu diesen Verfahren befinden sich noch in der Entwicklung und müssen getestet werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Konferenzteilnahmen/-vorträge

Anfang September 2023 wurde im Rahmen der Konferenz ‚Applied Inverse Problems‘ von Martin Burger und Lorenz Kuger ein Minisymposium mit Titel „Inverse Problems in Radiation Protection and Nuclear Safety“ organisiert. Die Schwerpunkte lagen auf Problemen der Emissionsbildgebung, wie z.B. im Rückbau oder bei nichtdestruktiven Tests von Brennelementen notwendig. QGRIS wurde in drei Vorträgen von Lorenz Kuger und Michelle Bruch von FAU/DESY und von Sibylle Petrak von Hellma Materials GmbH vorgestellt. Darüber hinaus wurde Ergebnisse des Projekts bei der Helmholtz Imaging Konferenz in Hamburg vorgestellt, in einer von Martin Burger organisierten Session mit Vorträgen von Lorenz Kuger und Sibylle Petrak.

Veröffentlichungen

Die Fortschritte in der Modellierung der Mehrfachstreuung wurden in folgendem Artikel dokumentiert:

Burger, M., et al.: „Multiple Scatter Correction for Single Plane Compton Camera Imaging in Nuclear Decommissioning“, Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics 23 (2023), <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pamm.202300281>

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9431C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hochschule Zittau/Görlitz	
Vorhabenbezeichnung: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, TP: 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 Schönmuth	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: T.Schoenmuth@hszg.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Gesamtziel des Projektes ist die Entwicklung und Umsetzung eines neuartigen Messverfahrens für die Bewertung des radiologischen Zustands von Gebäuden und kerntechnischen Anlagenteilen im Rahmen der radiologischen Erkundung zur Rückbauplanung und Erfolgskontrolle, der Lenkung/Optimierung einzelner Rückbauschritte sowie der schnellen Erkundung im Rahmen der Gefahrenabwehr (Störfallvorsorge). Durch im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren aufwandsärmer gewonnene Informationen mittels Single Plan Compton Camera (SPCC) 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 dieser Demonstratoren. Die HSZG stellt Versuchsmatrizen für die geplanten Messungen auf, die anschließend im Labor Strahlentechnik der HSZG durchgeführt und ausgewertet werden. Außerdem soll die HSZG den Projektpartner Hellma bei der Auswahl, dem Aufbau und der Inbetriebnahme eines für kerntechnische Anlagen geeigneten 3D Laserscanners unterstützen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm (im Berichtszeitraum)

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 4.3

Aufbau GARAY-TF (Gamma RAY-Test Facility)

Aufgrund verschiedener Schwierigkeiten bei angefragten Unternehmen hinsichtlich der Konstruktion eines geeigneten Aufbaus und Lieferschwierigkeiten spezifizierter Antriebskomponenten, wurde ein veränderten Aufbau mit manueller Handhabung umgesetzt. Dieser besteht aus zwei Ebenen, in denen die radioaktiven Quellen gehalten und verschoben

werden können (hintere Ebene) sowie verschiedene Abschirmungsmaterialien eingebracht werden können (vordere Ebene, siehe *Abb. 1*).

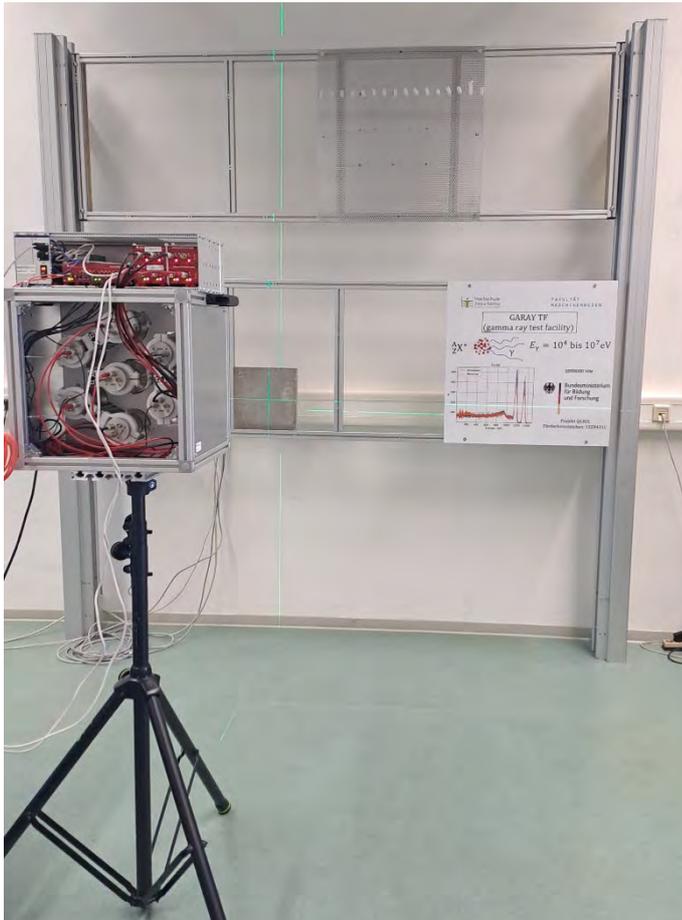


Abbildung 2: GARAY-TF – Aufbau im Labor Strahlentechnik der HSZG, Compton-Kamera RSL7 im Vordergrund.

Evaluation der Rekonstruktionsparameter

Ein wesentlicher Teil der Geräteentwicklung ist die Entwicklung eines Rekonstruktionsalgorithmus (zunächst MLEM) und Überführung in eine Anwendersoftware. Dieses Arbeitspaket wurde vom Projektpartner FAU / DESY Imaging bearbeitet. Die entwickelte Anwendersoftware wurde mit Modellversuchen an der HSZG getestet und daraus in Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern weitere Entwicklungsschritte abgeleitet.

Neben sehr praxisnahen Modifikationen der Software war die Bewertung von zwei wesentlichen Parametern des Rekonstruktionsalgorithmus essentiell: der Iterationszahl N_I und des Background Parameters P_B . Zur Bewertung der Datenakquise wurde außerdem der Energieschwellwert der PVT-Detektoren $E_{min(PVT)}$ betrachtet, der im finalen Algorithmus jedoch nicht frei wählbar ist, sondern bereits bei der Datenakquise festgesetzt wird. Für die drei Parameter wurde mit Parameterstudien der jeweilige Wertebereich ermittelt, der eine ausreichend genaue Positionsermittlung der radioaktiven Quelle ermöglicht.

Exemplarisch sind in den *Abbildungen 2* und *3* Rekonstruktionen einer ^{60}Co -Punktquelle gezeigt, die sich im Abstand von 1 m vor der Compton-Kamera (RSL7) bei den Koordinaten $x = 1$ m und $y = 1$ m befand. Erwartungsgemäß wird bei geringen N_I eine sehr ausgedehnte Intensitätsverteilung rekonstruiert (*Abb. 2, links*). Mit steigendem N_I (*Abb. 2, Mitte und rechts*) wird die Intensitätsverteilung immer schmaler und würde sich bei weiterer Erhöhung auf wenige

Pixel konzentrieren. Die Position der Punktquelle wird mit hoher Genauigkeit rekonstruiert (das Maximum der Verteilung entspricht der Quellenposition) und ist unabhängig von N_I . Ein Wertebereich von $N_I = 150 \dots 300$ ist hier zu empfehlen.

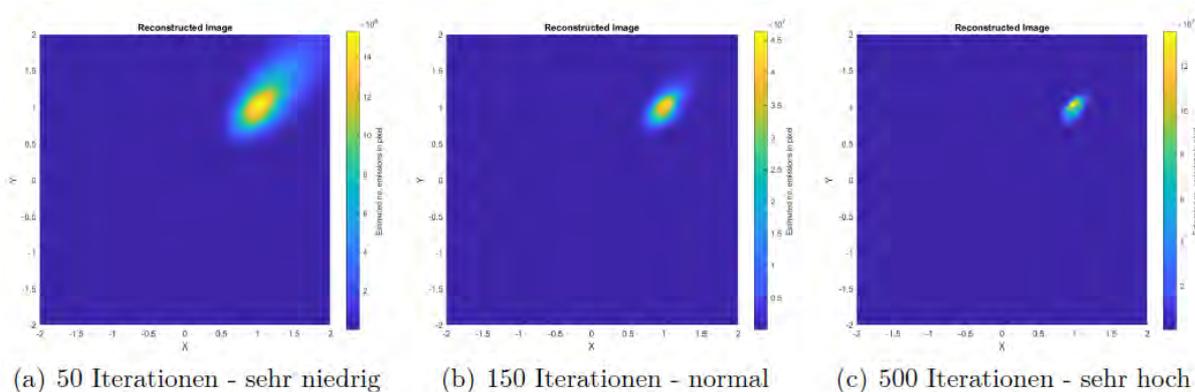


Abbildung 3: Rekonstruktion einer ^{60}Co -Punktquelle bei der Position $x = 1 \text{ m}$ und $y = 1 \text{ m}$ in einem Abstand von 1 m von der Compton-Kamera RSL 7 – Variation der Iterationszahl N_I bei $P_B = 33$.

Der Einfluss von P_B ist in *Abbildung 3* dargestellt. Ein zu geringer Wert erzeugt eine sehr breite Intensitätsverteilung, ein zu hoher Wert verzerrt die punktförmige Darstellung der Quelle in Richtung der Außenkanten der rekonstruierten Fläche und verschiebt das Zentrum der rekonstruierten Quelle weg von der eigentlichen Position. Ein optimaler Wertebereich für ^{60}Co ist $P_B = 10 \dots 35$.

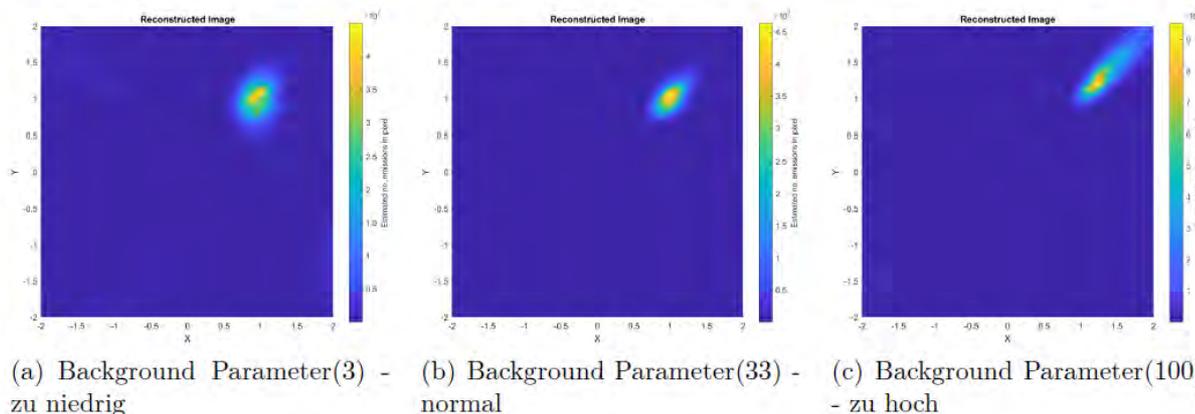


Abbildung 4: Rekonstruktion derselben ^{60}Co -Punktquelle wie in *Abb. 1* – Variation des Background Parameters P_B bei $N_I = 200$.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Zu AP 4.3

Die Laborexperimente mit dem RSL7 werden im kommenden Berichtszeitraum nach erfolgreicher Gerätenachrüstung beim Projektpartner Hellma Materials fortgesetzt. Zum Abschluss der Modellexperimente werden die Flächen- und Linienstrahler, die beim VKTA hergestellt wurden, untersucht.

Zu AP 5.2 und 5.3

Die HSZG wird sich an Validierungsmessungen beim Projektpartner VKTA (AP 5.2) sowie an der Optimierung des Messsystems, der Messprozeduren und der Software (AP 5.3) beteiligen. Insbesondere ist hier die Beteiligung an der Messkampagne am im Rückbau befindlichen Kernkraftwerk Rheinsberg (KKR) im März 2024 zu nennen.

Zu AP 6

In den verbleibenden 5 Monaten bis zum Projektende werden der Projektworkshop vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet sowie die erzielten Projektergebnisse, u.a. in Form des Abschlussberichts, dokumentiert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Burger, M., Jansen, S., Hölzer, K., Kaden, T., Kuger, L., Lösch, H., Petrak, S., Rieger, T., Schönmath, T. (2023). Multiple scatter correction for single plane Compton camera imaging in nuclear decommissioning. Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics, 23, e202300281. <https://doi.org/10.1002/pamm.202300281>

Jansen, S., Lösch, H., Kaden, T., Schönmath, T., Petrak, S., Burger, M., Kuger, L.: Radiologische Charakterisierung von kontaminierten Objekten mit mehreren Prototypen einer Single Plane Compton Kamera, KONTEC 2023 – 16. Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ (30.08.-01.09.2023), **Poster**

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9431D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., D-01328 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie, TP: Qualifizierung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 237.501,88 €
Projektleiter/-in: Dr. Henry Lösch	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Henry.Loesch@vkta.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1 Planung und Entwurf

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

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

AP 2 Simulation, Modellierung

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

AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen

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

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

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

AP 6 Workshop & Dokumentation

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

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

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

6.4 Abschlussbericht (3/2024-5/2024)

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

AP 5.2 Validierungsmessungen VKTA

Im Berichtszeitraum wurden mit dem aktuellen Setup der Compton-Kamera an verschiedenen 200 l Fässern Testmessungen durchgeführt. Bei den verwendeten Fässern handelt es sich teilweise um Fässer aus dem Rückbau der Isotopenproduktion bzw. des Forschungsreaktors in Dresden-Rossendorf sowie um Dummy-Fässer, welche mit Quellen präpariert werden können (Abbildung 5)

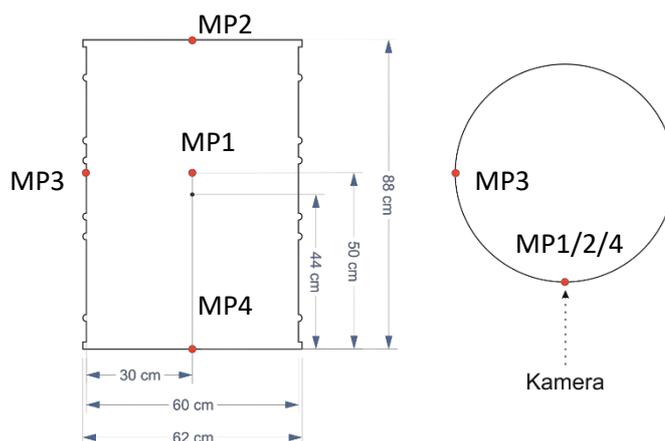


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Messpunkte für ein Dummy-Fass, links: Frontansicht, rechts: Sicht von oben.

Als Nuklide kamen Co-60 und Cs-137+ als typische Kraftwerksnuklide zum Einsatz. Für eine Punktquellengeometrie konnte eine gute Rekonstruktion der Quellposition beobachtet werden (Abbildung 6).

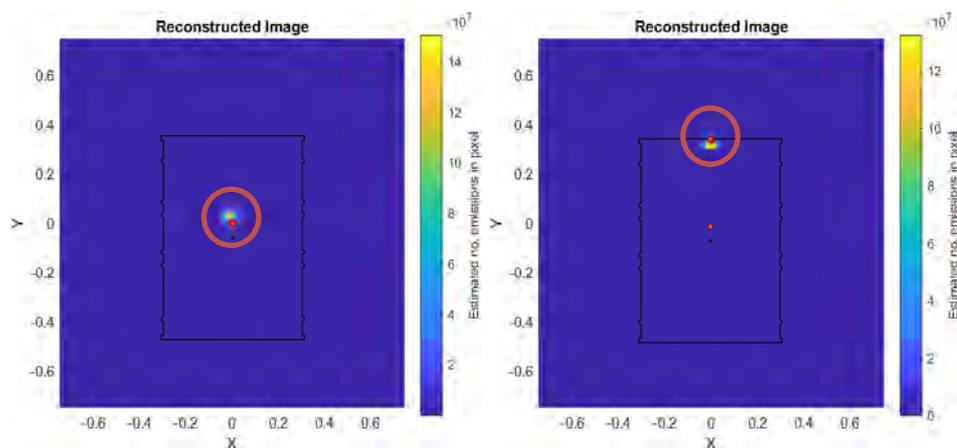


Abbildung 6: Rekonstruierte Aktivität in einem Dummy-Fass (mittig und oben) mit Co-60, 5 MBq.

In Bezug auf Volumenkontaminationen konnte festgestellt werden, dass der Rekonstruktionsalgorithmus aktuell noch eine punktförmige Quellverteilung priorisiert. Gleichzeitig wird bereits eine räumliche Ausdehnung der Kontamination gut dargestellt.

Bezüglich des Algorithmus laufen bei einem Projektpartner aktuell weitere Anpassung, um abweichende Geometrien besser abzubilden.

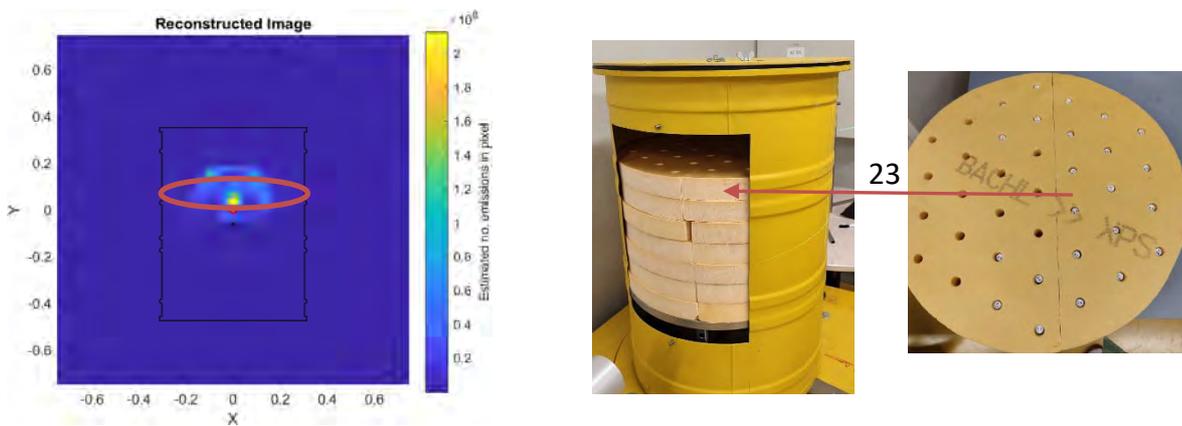


Abbildung 7: Darstellung einer Volumenkontamination in einem Dummy-Fass bestehend aus 23 Co-60 Einzelquellen, Gesamtaktivität: 11,5 MBq.

In Bezug auf reale Abfallgebinde konnten verschiedene Messungen durchgeführt werden. Es zeigte sich hier meist eine punktförmige Aktivitätsverteilung. Zur Verifizierung der Messdaten sollen die Gebinde noch einmal auf dem Fassmessplatz bewertet werden.

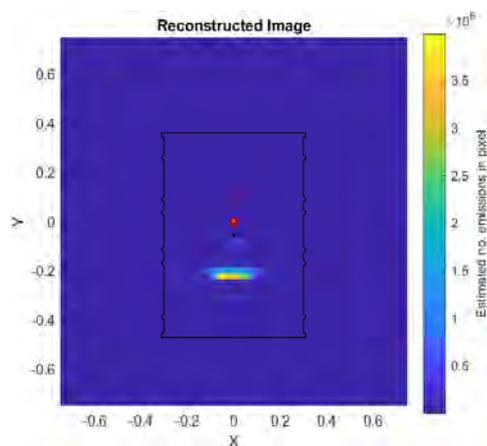


Abbildung 8: Rekonstruierte Aktivität eines realen Abfallgebundes mit Cs-137+.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- AP 5.4 Gegenüberstellung mit rückbauerproben Verfahren
 - Messungen im ehemaligen Kernkraftwerk Rheinsberg
- AP 6.3 Planung, Durchführung, Auswertung Workshop

5. Bezug zu anderen Vorhaben

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Poster, „Radiologische Charakterisierung von kontaminierten Objekten und Bereichen mit einer Single Plane Compton Kamera“, Kontec, 30.08.2023 – 01.09.2023
- Masterarbeit Tobias Rieger, „Untersuchung ausgewählter Messanordnungen mit einer Einebenen-Compton-Kamera“, HSZG 2023
- Kuger et al., PAMM 23(3), 2023

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	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: VP: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (NaMaSK), TP: Durchführung der Versuche mit inaktivem Probenmaterial	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2021 bis 30.06.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 645.305,19 €
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.

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 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Der kontinuierliche Betrieb der Siebkomponente wurde mit über 2 kg Abrasiv-Stahl-Gemisch erfolgreich getestet. Bei der Siebung mit 180 µm Maschenweite wurde ein Siebfehler

(Fehlunterkorn) von weniger als 5 Massen-% ermittelt. Mit diesem geringen Siebfehler kann die entstandene Grobgutfraktion bezüglich der Partikelgrößenverteilung direkt in die WASS-Anlage für einen weiteren Schnitt gegeben werden. Es wurde anschließend eine Probe des Grobguts für die Bestimmung der Stahlkonzentration vorbereitet. Anhand dieser Werte kann das Separationsergebnis der Anlage bewertet werden.

Für den neu entwickelten kontinuierlich betriebenen Magnetfilter wurde der Abscheidegrad bei Verwendung von Stahlpartikeln bestimmt. Hierfür wurde ein Versuchsstand geplant und aufgebaut. Für die Bestimmung des Abscheidegrads wurde ein Rührbehälter mit 10 l destilliertem Wasser und 5 g Stahlpartikeln befüllt. Dieses wurde in eine homogene Suspension gebracht und mit einem Partikelmessgerät die Konzentration der Stahlpartikel in der Suspension bestimmt. Danach wurden fünf Separationszyklen mit einer Dauer von 20 Minuten im Batch-Betrieb durchgeführt. Nach jedem Separationszyklus wurde wieder eine Partikelmessung durchgeführt. Mithilfe dieser Daten konnte die vom Magnetfilter separierte Stahlpartikelmenge bestimmt werden. Das Ergebnis ist, dass der derzeitige Magnetfilter pro Durchlauf etwa 1 % der Edelstahlpartikel separiert. Dabei wird nur das einmalige Durchströmen des r-Teilers betrachtet, nicht der serielle Aufbau mehrerer r-Teiler hintereinander.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Die Betriebsparameter des Magnetfilters werden auf die Behandlung eines Abrasiv-Stahl-Gemischs angepasst. Anschließend soll ein Verbundversuch der Siebkomponente und des Magnetfilters durchgeführt werden. Hierfür wird das Abrasiv-Stahl-Gemisch zuerst in der Siebanlage gesiebt und anschließend das Grobgut im Magnetfilter behandelt, um ein wiederverwendbares Abrasiv zu erhalten. Das so hergestellte wiederverwendbare Abrasiv wird mittels chemischer Analyse zur Bestimmung des Abscheidegrads des Stahls untersucht.

AP 5: Dokumentation

Die Ergebnisse der Untersuchungen und die Bewertung der Separationsversuche werden zusammengefasst und dokumentiert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

„Wet sieving and magnetic separation for the treatment of radioactive secondary waste produced from waterjet abrasive suspension cutting“, Vortrag, SafeND (Germany, Berlin, 2023, September 13-15)

Posterpräsentation, NEA Global Forum Rising Stars Workshop in Nuclear Education, Science, Technology and Policy, Massachusetts Institute of Technology, (USA, Cambridge, 2023, September 20-21)

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9423B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	
Vorhabenbezeichnung: VP: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen, TP: Durchführung von Versuchen mit radioaktivem Probenmaterial	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2021 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 422.907,96 €
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, der ein mineralisches Abrasiv enthält, 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 mit inaktiven Abrasivpartikeln und radioaktiven Stahlpartikeln) so zu trennen, dass der Sekundärabfall maßgeblich reduziert werden kann. 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. Um dieses Verfahren auch für ferritische Stähle anwenden zu können, werden Korrosionsinhibitoren untersucht, um die Bildung von Korrosionsprodukten zu verhindern. 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 2023 konzentrierte sich AP1 des NaMaSK-Projekts auf die Prüfung der reinen Verbindungen, die aus der chemischen Analyse des kommerziellen Korrosionsinhibitors ermittelt wurden und auf vorläufige Bestrahlungsversuche. Triethanolamin (TEA) und 2,4,6-Tri-(6-Aminocaprinsäure)-1,3,5-Triazin (TACT) wurden auf ihre korrosionshemmende Wirkung auf ferritischen Stahl untersucht. Immersionstests und potentiometrische Messungen bei verschiedenen Inhibitor-Konzentrationen ergaben, dass 0,03%ige TACT- und 0,5%ige TEA-Lösungen mit jeweils über 90 % Inhibitionseffizienz die optimalen Konzentrationen für die Korrosionshemmung der Stahlprobe über die erforderliche Anwendungsdauer sind.

Um den Mechanismus der Korrosionshemmung zu verstehen, wurden thermodynamische Experimente mit und ohne Inhibitoren mittels Quarzkristallmikrowaage (QCM) durchgeführt. QCM Messungen zeigen erwartungsgemäß, dass die Korrosionsraten des Stahls in Abwesenheit von Inhibitoren mit zunehmender Temperatur steigen. Dies ist nicht der Fall, wenn Inhibitoren in entsprechenden Konzentrationen anwesend sind. Vorläufige Ergebnisse der QCM-Messungen zeigen, dass bei einer 0,5%igen TEA-Lösung die Veränderung der Quarzkristallfrequenz mit der Zeit modelliert werden kann, um die Dicke und Masse des adsorbierten Inhibitors pro Flächeneinheit zu erhalten. Bei 0,03%iger TACT-Lösung wurde ein zeitabhängiges Muster von Frequenzschwankungen beobachtet, das auf ein viskoelastisches Verhalten der oberflächensorbierten langkettigen Moleküle hinweist.

Darüber hinaus wurden im vergangenen Jahr Bestrahlungsversuche zur Untersuchung der Wirkung ionisierender Strahlung auf die Hemmeigenschaften der ausgewählten Korrosionsinhibitoren begonnen. Eine Blindlösung aus entgastem, deionisiertem Milli-Q-Wasser wurde in einem Autoklaven in der abgeschirmten Boxenlinie des INE bestrahlt, wobei ein Stück einer neutronenaktivierten Feder aus einem Reaktor als Co-60 Strahlungsquelle diente. Mit Hilfe detaillierter Monte-Carlo-Simulationen wurde das Strahlungsfeld um die der Strahlenquelle ausgesetzten Probe abgeschätzt und mit Thermolumineszenzdetektoren (TLDs) die Energiedosis für die Proben bestimmt. 20 TLDs wurden unter den gleichen Bedingungen wie die Blindprobe bestrahlt und anschließend auf die absorbierte Dosis analysiert. Die Dosis-schätzungen aus den Simulationen zeigten eine gute Übereinstimmung mit den TLD-Ablesungen. Massenspektrometrische Analysen der Gasphase nach der Bestrahlung zeigten, dass Spuren-mengen an Wasserstoff und Wasserstoffperoxid entstanden. Die Bildung dieser Radiolyseprodukte ergibt sich auch aus Abschätzungen mittels Monte-Carlo-Simulationen und aus strahlenchemischen Berechnungen unter Verwendung entsprechender G-Werte.

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Für die Arbeiten zur Verbesserung der MaSK-Anlage siehe Bericht von KIT-TMB.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu den Arbeitspaketen)

AP 1: Untersuchungen zur Verwendung von Korrosionsinhibitoren bei ferritischen Stählen

In der ersten Hälfte des Jahres 2024 sind weitere QCM Messungen vorgesehen, um die Oberflächenwechselwirkung der Inhibitoren zu quantifizieren. Dazu soll das Adsorptionsverhalten der ausgewählten Inhibitoren an einem mit Eisen beschichtetem Schwingquarz untersucht werden, um detaillierte Erkenntnisse zum Mechanismus der Adsorption und ihrer Kinetik zu gewinnen.

Ausführliche Radiolyse-Experimente werden Einblicke in die Strahlungsstabilität, das Verhalten und damit die Wirksamkeit der Inhibitoren in Gegenwart ionisierender Strahlung liefern. Dazu wird eine Vorrichtung geplant und konstruiert, die die Einstellung reproduzierbarer Bestrahlungsbedingungen mit der oben erwähnten neutronenaktivierten Feder als Strahlenquelle erlaubt. Damit sollen dann systematische Bestrahlungsexperimente mit den Proben durchgeführt werden.

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

Am KIT-TMB werden die Untersuchungen bzw. Berichte zur Verbesserung der MaSK-Anlage Anfang 2024 abgeschlossen sein (Ende der Projektlaufzeit am KIT-TMB gemäß Antrag auf kostenneutrale Verlängerung - siehe Bericht von KIT-TMB).

AP 4: Da die Verfügbarkeit des radioaktiven Korngemischs erst am Ende des bislang vorgesehenen Projektzeitraums Ende 2023 bzw. Anfang 2024 in Aussicht gestellt wurde, können die Forschungsarbeiten zur Trennung radioaktiver Korngemische, die mit der noch zu verbessernden MaSK-Anlage im Kontrollbereich vorgesehen waren, im vorgesehenen Zeitraum bis Ende 2023 nicht realisiert werden.

Daher wäre für weiterführende Arbeiten zur Charakterisierung von radioaktiven Korngemischen ein Neuantrag zu stellen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT EP 3 784 407 B1– **Trennanlage und Trennverfahren** – (Erfinder: Becker, Plaschke, Schild, Tobie, - KIT-INE sowie Brandauer, Heneka, Krauß – KIT-TMB) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung: **30.08.2023 Patentblatt 2023/35**

Poster: Corrosion Inhibition of Inactive RPV Steel in Water-Abrasive Suspension (WAS) Cutting Scenario, J. Nwade, F. Becker, D. Schild, M. Plaschke, V. Metz, H. Geckeis (KIT-INE); International Summer School on Experimental Electrochemistry, Warschau, 22. Juni 2023.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9428A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Öko-Institut. Institut für angewandte Ökologie e.V.	
Vorhabenbezeichnung: VP: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA), TP: 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. Biol. (t.o.) Angelika Spieth-Achtnich	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: a.spieth-achtnich@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.

AP 2: Inventarerhebung Technologiemetalle KKW Philippsburg 1 und 2

AP 2.1: Demontagestudien

AP 2.2: Untersuchungen zur mechanischen Aufbereitung von Komponenten

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

AP 3: Ermittlung des intrinsischen Materialwerts

AP 3.1: Skizzierung der Verwertung der Materialgruppen und Ableitung Recyclingpotenziale

AP 3.2: Einteilung der Komponenten mit Technologiemetallen in verwertbare Materialgruppen

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

AP 4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und ökologische Betrachtung

AP 4.1: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

AP 4.2: Ökologische Betrachtung

AP 4.3: Feststellung notwendiger Optimierungen hinsichtlich Freigabeprozesse

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

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

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

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

Die Inventaraufnahme für interessanten Großkomponenten für KKP 2 sind komplett abgeschlossen. Für KKP 1 sind die Arbeiten ebenfalls vollständig abgeschlossen (AP 1 und AP 2). Zu AP 3 wurden bereits zahlreiche Informationen zusammengetragen und ausgewertet. Für AP 4 wurde Ziel und Untersuchungsrahmen für die Öko-Bilanz festgelegt und die Berechnungen wurden gestartet. Erste vorläufige Ergebnisse konnten ausgewertet werden. Die Optimierungsmöglichkeiten der Freigabe wurde mit EnKK diskutiert. Bezüglich AP5 konnte aufbauend auf den erzielten Ergebnissen von AP 4 bereits erste Abschätzungen zum ökologischen und ökonomischen Potenzial der Verwertung von Technologiemetallen aus dem Rückbau getroffen werden. Diese Arbeiten werden in 2024 noch weitergeführt und final abgeschlossen.

Im August 2023 wurde ein 2-tägiges physisches Projekttreffen in Clausthal durchgeführt und November 2023 fand weiteres ein 1-tägiges Projekttreffen in Darmstadt statt. Bei beiden Treffen wurden die zum jeweiligen Zeitpunkt bisherigen vorläufigen Ergebnisse vorgestellt und diskutiert, außerdem wurden die in der verbleibenden Projektlaufzeit zu erledigenden Arbeiten im Detail geplant und zwischen den Projektpartnern koordiniert. Für die Endphase des Förderzeitraums (April 2024) wurde ein gemeinsamer Abschlusstermin mit dem PT und dem BMBF geplant.

Um den regelmäßigen Austausch zwischen den Projektpartnern sicherzustellen, wurde 3-wöchig ein Jour Fixe durchgeführt.

Insgesamt konnte im Berichtszeitraum durch viele parallellaufende Aktivitäten im Vorhaben der zeitliche Rückstand aufgeholt werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Arbeiten zu AP 4 und AP 5 werden bis zum Ende des Förderzeitraums (April 2024) abgeschlossen. Die Arbeiten zur Berichtserstellung sowie den Leitfaden laufen und werden regelmäßig mit den Projektpartnern abgestimmt. Das nächste Projekttreffen wird im März 2024 in Philippsburg stattfinden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bislang keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9428B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Clausthal - Institut für Aufbereitung, Recycling und Kreislaufwirtschaftssysteme	
Vorhabenbezeichnung: VP: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RecTecKA), TP: 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 Arbeitsprogramm Punkten)

Nach intensivem Austausch mit den Kraftwerksbetreibern konnte für die Wertmetallgehalte der E- und Leittechnik eine Hochskalierung durchgeführt werden. Hierüber konnte für die Blöcke 1 und 2 der Gesamtgehalt an Gold, Silber, Palladium und Kupfer bestimmt werden. Die einzelnen Bauteile wurden in Obergruppen unterteilt, welche eine spätere Skalierung auf andere Kraftwerke ermöglichen. Insgesamt sind auf 17 T an Platinen 6.3 kg Silber, 4.13 kg Gold sowie 460 Gramm Palladium enthalten. Der reine Materialwert wurde über Hüttenpreise ermittelt und liegt bei etwa 250.000 €. In KKP 1 können PPM Gehalte von 394 für Silber, 193 für Gold sowie 21.06 für Palladium angenommen werden. In KKP 2 belaufen sich die Gehalte entsprechend auf 321,272 und 33 PPM. Hieran kann festgestellt werden, dass KKP 2 wertmäßig den größeren finanziellen Anreiz für den Rückbau bietet.

Weiterhin wurde eine Kalkulation für Schaltschränke durchgeführt. Hierüber konnten die Massen an verwertbaren Fraktionen bestimmt werden. Der gesamte Schrottwert der Schaltschränke in KKP 1 beläuft sich auf 71.000 €, der Wert in KKP 2 auf 89.000 €.

Eine genaue Mengenabschätzung der übrigen Elektrobauteile ist aufgrund der großen Anzahl bisher schwierig. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass es sich in erster Linie um eine EK VS Fraktion handelt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im restlichen Verlauf des Projekts soll eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt werden. In dieser soll der tatsächliche Nennwert ermittelt werden, der bei einer Aufbereitung der Bauteile erreicht werden kann. Weiterhin wird versucht in Zusammenarbeit mit den Kraftwerksbetreibern eine mengenmäßige Abschätzung der übrigen Elektrobauteile durchzuführen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bisher keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9428C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: EnBW Energie Baden-Württemberg AG	
Vorhabenbezeichnung: 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	
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 2023 wurden die Arbeiten zu den AP 1.1, AP 1.2 weiter vorangetrieben und ergänzende Informationen und Unterlagen zur Verfügung gestellt. Es wurden spezifische Fragestellungen mit den Fachleuten aus den Fachbereichen erläutert und vorhandene Lücken geschlossen. Der Fokus lag hierbei auf den Bereichen Elektro- und Maschinentechnik. Die entwickelte Systematik zur Nutzung des Anlagenkennzeichens (AKZ) bzw. des Kraftwerkzeichnungssystems (KKS) für eine systematische Auswertbarkeit und spätere Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf andere Anlagen wurde fortgeführt.

Neben den Projekttreffen fanden Abstimmungen zum Thema Freigabeprozess statt. Hierbei wurde anhand konkreter Komponenten die Prozesse durchgesprochen und analysiert.

Darüber hinaus fanden im Zusammenhang mit dem AP 4.3 verschiedene fachliche Gespräche statt, die allgemeine Anhaltspunkte notwendiger Optimierungen hinsichtlich der Freigabeprozesse zum Ergebnis hatten.

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden in den Arbeitsbericht übernommen und die entsprechenden Texte erstellt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Weiterhin werden die Arbeiten der jeweiligen Arbeitspakete unterstützt und erforderliche Informationen bereitgestellt und die Fertigstellung des Arbeitsberichtes vorangetrieben.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9428D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Electrocycling GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben (RectecKA), TP: Ermittlung des intrinsischen Materialwerte	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2021 bis 30.04.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 92.894,47 EUR
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)

In Kooperation mit der TUC wurden nachträglich nochmal ein besonderer Fokus auf die Schaltschränke gelegt. Hier wurden seitens ECG Schaltschränke mit bestimmten Merkmalen, welche mit den Schaltschränken in KKP1/KKP2 übereinstimmen verarbeitet (150t).

Das Vorhaben sollte zum einen zeigen, welches Aufbereitungsverfahren geeignet ist, wie auch die Prüfung der Zusammensetzung der unterschiedlichen Wertstoffe nach dem Verarbeitungsprozess.

Hier wurde festgestellt, dass es schon ausreicht, die Schränke in einem groben Zerkleinerungsprozess zu geben. Die Produktgestalt ist nach einem Prozess aufgelöst und einzelne Wertstoffe frei vorliegen.

Diese Fraktion können über verschiedenen Separationsprozesse getrennt werden ohne diese einen zusätzlichen Zerkleinerungsschritt zuzuführen.

Über verschiedenen Verfahren wie Siebtechniken, NE-Scheider, Röntgenfluoreszenzanalyse, Lufttrennherde sowie Wassertische, können die meisten Fraktionen bereits einem Hydro- und Pyrometallurgischen Prozess zugeführt werden. Verbunde, die im ersten Zerkleinerungsprozess nicht aufgelöst wurden ca. 15%, gehen in einen weiteren Zerkleinerungsprozess.

Im nächsten Schritt wurden die getrennten Fraktion analysiert und der intrinsische Materialwert bestimmt. Hier wurden die von der TUC Ermittelten metall- und Edelmetallgehalte der Leiterplatten mitberücksichtigt.

Ergebnis: Die Schaltschränke weisen einen intrinsischen Materialwert von insgesamt ca. 160.000 EUR auf.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Im restlichen Verlauf des Projektes, unterstützt ECG weiterhin alle Projektpartnern mit der Bewertung von verschiedenen Materialien, wie auch bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Ökobilanz.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9433A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., Postfach 200 733, 80007 München Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), Standort Dresden-Klotzsche, Maria-Reiche-Str. 2, 01109 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: VP: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagegerechten Konditionierung C-14-belasteter flüssiger organischer Abfälle, TP: Weiterentwicklung und Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Fraktionierung des Anodengases	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 bis 30.09.2025	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 entwickelt und im Pilotmaßstab demonstriert werden. Auf diese Weise soll ein wesentlicher Beitrag zur Lösung eines schwierigen Entsorgungsproblems geleistet werden

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- 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 dritte Verbundmeeting wurde einvernehmlich auf das 1. Halbjahr 2024 verschoben. Es wurde ein angepasster Zeitplan für die Bearbeitung erarbeitet und mit den Partnern abgestimmt.

AP100: Die Beschaffungsverfahren für die zur Bearbeitung erforderlichen Ausrüstungsgegenstände wurden fortgesetzt. Ein weiteres Gerät (Massenspektrometer) für die chemische Analytik des Anodengases steht seit Ende des Berichtszeitraums zur Verfügung. Mit den Erprobungen wurde begonnen.

AP200: Die Arbeiten wurden wieder aufgenommen. Die Geräte zur Anodengasanalytik wurden in den Versuchsaufbau integriert und die Erprobung begonnen.

AP300: Mit der Bearbeitung wurde noch nicht begonnen.

AP400: Im Berichtszeitraum erfolgten weitere Planungs- und Fertigungsarbeiten für den Aufbau des Versuchstandes. Die Auslegung / Spezifikation aller apparativen Hauptkomponenten ist abgeschlossen. Die entsprechenden Ausschreibungen und Beschaffungsvorgänge bzw. Vergaben wurden ebenfalls abgeschlossen bzw. eingeleitet.

AP500: Es erfolgten weitere Literaturrecherchen und methodische Arbeiten zur Verbesserung der Nachweisgrenzen.

AP600: Im Berichtszeitraum waren hierzu keine Arbeiten vorgesehen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP010: Die Bearbeitung wird planmäßig fortgesetzt. Das nächste Verbundmeeting ist im Frühjahr 2024 geplant.

AP100: Die Untersuchungen werden fortgesetzt.

AP200: Die Untersuchungen werden schrittweise auf weitere relevante chemische Verbindungen ausgedehnt.

AP300: Die experimentelle Bearbeitung wird im 1. Halbjahr 2024 begonnen.

AP400: Die Bearbeitung wird fortgesetzt. Die Pilotanlage soll zum Ende des ersten Halbjahres zur Verfügung stehen.

AP500: Die methodischen Entwicklungsarbeiten werden fortgesetzt, speziell im Hinblick auf die Absenkung der Nachweisgrenzen und die Auswahl der LSC-Cocktails.

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

Die bisherigen Projektergebnisse wurden zur KONTEC 2023 präsentiert.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 – 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9433B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., D-01328 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: VP: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagergerechten Konditionierung C14-belasteter flüssiger organischer Abfälle, TP: 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 – 30.09.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 179.459,84 €
Projektleiter/-in: Dr. Henry Lösch	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Henry.Loesch@vkta.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

Bisherige Untersuchungen lassen erwarten, dass auf der Basis der elektrochemischen Totaloxidation ein aussichtsreiches Alternativverfahren etabliert werden kann, das diese Nachteile vermeidet, da das C-14-Inventar unter Volumenreduktion in lagerfähiges C-14-CaCO₃ überführt wird. Das Verfahren soll hierzu weiter optimiert werden, um auf dieser Basis ein C-14-Recyclingprozess zur Verringerung des C-14-Umlaufs zu entwickeln und im Pilotmaßstab zu demonstrieren. Auf diese Weise soll ein wesentlicher Beitrag zur Lösung eines schwierigen Entsorgungsproblems geleistet werden. Durch die langjährige Erfahrung im Bereich der Strahlungsmesstechnik wird sich der VKTA hier bei der Entwicklung einer totzeitarmen C-14 Messmethode beteiligen. Weiterhin sollen die nach der elektrochemischen Totaloxidation anfallenden Reststoffe mittels der am VKTA 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

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

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

AP 500 Konditionierung/Freimessung der Reaktionsprodukte (laufend)

AP 600 Fortschreibung Verwertungskonzept

AP 610 Verwertungskonzept

AP 620 Sicherung des Know-how, wissenschaftliche Verwertung

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP 320 Erprobung/Weiterentwicklung totzeitarme C-14-Messung

Im Berichtszeitraum erfolgten erste Messungen mit dem gebauten Detektor in Kombination mit einem Plast-Szintillator (Polyvinyltoluen). Die erhaltenen Ergebnisse (Abbildung 9) zeigen, dass mit dieser Kombination die Messung einer umschlossenen C-14-Quelle mit einer Aktivität von etwa 400 Bq (aktive Fläche) möglich ist. Für eine bessere Zählstatistik sind weitere Messungen im ersten Quartal 2024 an einer stärkeren umschlossenen C-14 Quelle geplant (im Bereich 500 kBq – 1,5 MBq).

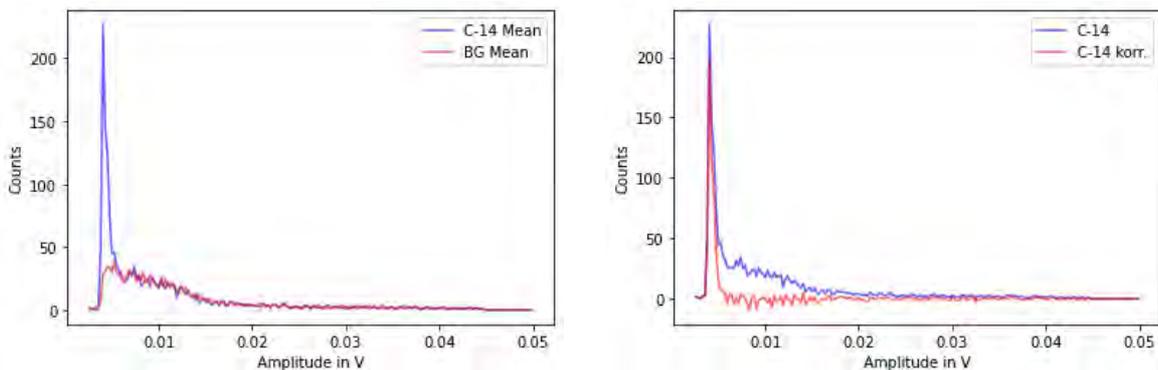


Abbildung 9: Messung einer umschlossenen C-14-Quelle; links: in blau Messsignal, in rot Untergrund; rechts Messsignal und untergrundkorrigiertes Messsignal.

Für die Messung im Gastrom wurde eine erste Testanordnung konstruiert (Abbildung 10), welche mit 6 mm Swagelok-Anschlüssen versehen wurde. Dies ermöglicht eine einfache Ankopplung an eine Teststrecke. Von unten kann dann der jeweilige Detektor per Schraubverbindung angekoppelt werden. Mit Hilfe dieser Anordnung soll ein erster Test im Gastrom mit fraktionierten C-14-haltigen CO₂ erfolgen.



Abbildung 10: Konstruierte Testanordnung mit Swagelok-Anschlüssen und Detektoranordnung.

4. Geplante Weiterarbeit

Fortführung der oben genannten AP.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9433C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: IUT - Institut für Umwelttechnologien GmbH, Justus-von-Liebig-Str. 6, 12489 Berlin.	
Vorhabenbezeichnung: VP: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagegerechten Konditionierung C-14-belasteter flüssiger organischer Abfälle, TP: Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Isotopentrennung zur Rückgewinnung von C-14	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 bis 30.09.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 148.838,38 €
Projektleiter/-in: Frau Kirsten Guthmann-Scholz	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: k.guthmann-scholz@iut-berlin.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Flüssige organische oder gemischt-wässrige C-14-Abfälle sind nicht endlagerfähig und können daher 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: Drittes Meeting in Berlin ist verschoben auf 1. Quartal 2024 im IUT.

AP200 keine

AP300 keine

AP400 keine

AP500 keine

AP600 keine

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP010: Konkretisierung nach drittem Meeting.

AP200

AP300

AP400

AP500

AP600

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9441
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Framatome GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Konditionierung von mittelaktiven (ILW) Ionentauscherabfällen aus der Chemischen System Dekontamination (SRT)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2023 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 100.162,92 €
Projektleiter/-in: Thomas Fishedick	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Thomas.Fishedick@framatome.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ionentauscherabfälle aus der Chemischen System Dekontamination (CSD, FSD) weisen einerseits eine signifikante höhere radioaktive Beladung auf als gewöhnliche Betriebsionentauscherabfälle und beinhalten bzw. waren zudem mit oxidativen Reagenzien und Komplexbildner aus der CSD in Kontakt. Die Folge ist ein instabiler Zustand (Zersetzung der Ionentauschermatrix, Gasbildung) dieser höher radioaktiven Ionentauscherabfälle, so dass mit Einschränkungen in der Handhabbarkeit bzw. mit Problemen bei der Konditionierung stabiler Behälterinventare zu rechnen ist. Die Zielsetzung des Vorhabens ist es eine neue Konditionierungsmethode inklusive Sicherheitskonzept für mittelaktive Ionentauscherabfälle (ILW) im Industriemaßstab mit Hilfe einer industriellen Kleinanlage zu entwickeln, zu erproben und zu optimieren.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP1: Anlagensicherheit

AP2: Methodenentwicklung und – optimierung

AP3: Immobilisierung der verflüssigten Ionentauscherabfälle in verschiedenen Matrizen

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

Für das H2 2023 war die Methodenentwicklung und – optimierung (AP2) vorgesehen. Beim ersten Versuch, bei dem der optimale pH-Wert ermittelt werden sollte, wurde bei einem Softwareupdate unbemerkt eine fehlerhafte Parametrierung der Messumformer hinterlegt. Dadurch wurde die Abgasmenge nicht korrekt angegeben wodurch die Ermittlung der Wasserstoffperoxidkonzentration inkonsistent wurde. Die ermittelte Konzentration überstieg den vorgegebenen Grenzwert signifikant. Zusätzlich wurde durch Beprobung eine zu geringe Eisenkonzentration bestimmt und entsprechend korrigiert. Diese Kombination von Parametern führte zu einem instabilen Betriebszustand (Druckanstieg, auf Grund von 3-fach überschrittenem Grenzwert).

Aus Sicherheitsgründen wurde der Versuch abgebrochen und die Versuchsanlage außer Betrieb gesetzt, um den Betriebszustand zu analysieren und Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Im Folgenden wurden zwei wesentliche Modifikationen an der Anlage vorgenommen:

1. Verbesserung des Parameter-Monitorings,
2. Einbau einer zusätzlichen passiven Druckabsicherung

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Das Versuchsprogramm soll so schnell wie möglich wieder aufgenommen werden, idealerweise Mitte Februar 2024

AP2: Methodenentwicklung und – optimierung

AP3: Immobilisierung der verflüssigten Ionenaustauscherabfälle in verschiedenen Matrizen...

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9442
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hochschule Mannheim	
Vorhabenbezeichnung: Charakterisierung und Dekontamination von i-Grafiten (i-GraDe)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2023 bis 31.10.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.600.524,03 €
Projektleiter/-in: Dr. Lotte Lens	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: l.lens@hs-mannheim.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Auf Grundlage von Vorarbeiten, sollen vielversprechende Verfahren der thermochemischen Behandlung von i-Grafiten fertig gestellt werden. Darüber hinaus wird als innovativer Ansatz die Extraktion von Radionukliden mit superkritischen Lösungsmitteln untersucht werden.

Voraussetzung für diese Untersuchungen ist allerdings die ausreichend gute Charakterisierung vorhandener bestrahlter Grafite bzgl. ihrer Radionuklidinventare und Homogenität. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Anteil leicht flüchtigen Radiokohlenstoffs (^{14}C). Damit kann eine Vorauswahl von Materialien getroffen werden, die möglicherweise direkt freigebbar oder ohne weitere Behandlung einlagerbar sind. Bei einem sehr geringen Anteil an flüchtigem ^{14}C in der Grafitmatrix könnte das Abfallvolumen an Grafit im Endlager Konrad signifikant optimiert werden. Alle anderen Anteile müssen nach einer Klassifizierung auf ihre Dekontaminierbarkeit untersucht werden.

Das Projekt setzt während des gesamten Verlaufs auf die enge Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnern sowie Partnern des aufzubauenden innerdeutschen Netzwerks. Wir beabsichtigen die Teilnahme an neu entstehenden Projekten im Bereich bestrahlter Reaktorgrafite sowohl auf nationaler wie auch auf internationaler Ebene.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Ausgehend von einer Bestandsaufnahme und Probenahmestrategie werden Proben unbestrahlter wie bestrahlter Reaktorgrafite ausführlich radiologisch charakterisiert sowie eine mögliche Klassifizierung dieser Proben vorgenommen. Daraufhin werden sie auf ihre Dekontaminierbarkeit mittels thermischer Verfahren und superkritische Extraktion hin untersucht. Die Methoden werden bezüglich ihrer Dekontaminations-Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit verglichen und bewertet. Die meist versprechende Methode, wird auf ihre Skalierbarkeit geprüft. Das gesamte Projekt ist aufgeteilt in die folgenden acht Arbeitspakete: 1) Informationsbeschaffung, 2) Beschaffung, 3) Charakterisierung bestrahlter und unbestrahlter Grafitproben, 4) Inbetriebnahmen, 5) Erprobung der Verfahren, 6) Betrachtung der Zulassungsfähigkeit, 7) Abfallprodukte, 8) Bewertung und Skalierbarkeit.

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

Seit Oktober ist die Arbeitsgruppe mit einer zweiten Doktorandin vollständig. Diese hat sich im Laufe der letzten Monate eingearbeitet (Arbeitspaket 1).

Es haben mehrere Treffen mit der Leitung des TRIGA Forschungsreaktors der Universität Mainz stattgefunden, bei denen die enge Zusammenarbeit beschlossen wurde. Im Februar 2024 werden die ersten Graft-Proben aus Mainz zur Charakterisierung eintreffen (Arbeitspaket 2 und 3).

Auf der Fachtagung KONTEC in Dresden wurden von der Projektleitung erfolgreich weitere Kontakte in die Industrie und Forschung geknüpft. International tätige Firmen wie STUDSVIK und Westinghouse Electric Corporation Germany zeigten sich interessiert an einer Unterstützung im Arbeitspaket 6. Zwischenzeitlich gab es auch intensive Gespräche mit Cyclife zur Bereitstellung von Proben aus französischen Leistungsreaktoren (Arbeitspaket 2) und als möglicher Technologieträger (Arbeitspaket 6).

Weiterhin wurden mehrere Telefonkonferenzen abgehalten, in denen die Bereitstellung von Proben aus den Berliner Forschungsreaktoren besprochen wurden (Arbeitspaket 2).

Eine engere Zusammenarbeit mit der JEN (Jülich) wurde sowohl auf der KONTEC wie auch auf der internationalen Graft-Tagung (INGSM) in Aachen besprochen. Danach fand ein Besuch des gesamten Teams bei der JEN statt mit Besichtigung eines der betroffenen Forschungsreaktoren im Rückbau (DIDO). Im Rahmen einer ausführlichen Besprechung wurden das weitere Vorgehen in der Zusammenarbeit sowie eine mögliche Probenahmestrategie diskutiert (Arbeitspaket 1&2).

Ein weiterer Doktorand wurde temporär eingestellt, um Simulationsrechnungen zur Bestimmung der Radionuklidzusammensetzung des Reflektors und der thermischen Säule des TRIGA Reaktors Mainz durchzuführen. Diese Simulationen wurden mit dem MC-basiertem Code FLUKA durchgeführt. Basierend auf Daten, welche von der Arbeitsgruppe in Mainz zur Verfügung gestellt wurden, wurde die Geometrie des TRIGA Reaktors Mainz modelliert und die Aktivitätsausbeuten von produzierten relevanten Radionukliden anhand der vorhandenen Bestrahlungshistorie (Neutronenflüsse und Bestrahlungszeiten) bestimmt. Die von uns erhaltenen Resultate wurden mit berechneten Werten aus Mainz, welche mit dem Simulationsprogramm SCALE-Origin berechnet wurden verglichen und konjugieren sehr gut. Diese berechneten Vorhersagen erlauben uns eine erste Abschätzung, mit welcher Radionuklidzusammensetzung und welchen Aktivitäten wir bei den Arbeiten zur Charakterisierung erwarten können. Die experimentell ermittelten Zusammensetzungen der Radionuklide sollen später mit den berechneten Daten verglichen werden und die Simulationscodes damit optimiert werden. Die Berechnungen sind zu diesem Zeitpunkt zunächst abgeschlossen. Ein Abstract zur Vorstellung der Ergebnisse, wurde vom Doktoranden für die Kerntechnik Konferenz eingereicht.

Die getätigten Investitionen: Oxidizer, SCFE Anlage und Humidity Gas Generator wurden geliefert und installiert. Des Weiteren wurden alle sicherheits- und strahlenschutztechnischen Anpassungen an die Geräte durchgeführt (Arbeitspaket 3). Die Einarbeitung in die Funktion der Geräte hat stattgefunden und die Standardarbeitsvorschriften wurden erstellt. Derzeit führen wir die Validierung der Methoden Schritte für Schritt durch (Arbeitspaket 3).

Zur Unterstützung der Doktoranden wurde eine studentische Hilfskraft eingestellt.

Bei der Inbetriebnahme des bereits in der Radiochemie vorhandenen Hochtemperaturofens sind größere und kostspielige Probleme aufgetreten. Insbesondere die Fertigung eines neuen Reaktionsgefäßes wäre extrem aufwändig und teuer. Daher wurde beschlossen einen neuen Hochtemperaturofen samt Zubehör zu bestellen, was etwa die Hälfte der Investitionen in das Reaktionsgefäß erfordert. Die entstandenen Kosten konnten durch freie Mittel in Investitionen, sowie einer Umwidmung von Mitteln aus den Verbrauchsmaterialien beglichen werden. Die Lieferung des Geräts ist inzwischen erfolgt. Die Lieferung des Autoradiographen erwarten wir Ende Januar 2024.

Alle arbeitstechnisch relevanten Verbrauchsmaterialien, die zur Durchführung erster Charakterisierungen (Arbeitspaket 2 & 3) des Grafit benötigt werden, wurden bestellt und werden bis Ende Januar 2024 vollständig geliefert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Nach der Lieferung von Hochtemperaturofen und Autoradiograph werden werksseitige Schulungen und die Inbetriebnahmen stattfinden. Die Methodvalidierung mittels Oxidizer und LSC werden fortgeführt, sowie die Methodvalidierung des Autoradiographen und des Hochtemperaturofens gestartet (Arbeitspaket 3 & 4). Ab März wird eine Masterprojektarbeit zur Inbetriebnahme und Methodvalidierung des Autoradiographen durchgeführt.

Beim Eintreffen der ersten Grafitproben im Februar aus Mainz, werden deren Radionuklidinventare mit den uns verfügbaren Methoden bestimmt und ihre räumliche Verteilung der Nuklide in den Proben erfasst. Danach werden wir beginnen, den flüchtigen Anteil an ^{14}C mittels Ausheizen in kleinen Rohr-Öfen zu bestimmen (Arbeitspaket 3). Die Ergebnisse werden mit denen der Simulationsrechnungen ständig verglichen und mit der Leitung des TRIGA Reaktor Mainz diskutiert.

Weitere Proben vom TRIGA Reaktor Mainz, wie auch vom JEN in Jülich werden im Laufe des nächsten halben Jahres eintreffen.

Die Doktorand:innen zusammen mit der Leitung werden im April am BMBF-FORKA Statusseminar teilnehmen. Des Weiteren wurden Abstracts für die Kerntechnik im Juni 2024 eingereicht. Beide Veranstaltungen sind wichtig für den Ausbau unseres Netzwerks (Arbeitspaket 1).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Zurzeit haben wir keinen Überlapp mit anderen Vorhaben. Bei der KONTEC in Dresden hatten wir längere Gespräche mit Herr Friedrich vom Fraunhofer-Institut in Dresden und wollen in Kontakt bleiben für einen weiteren Austausch.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Zu diesem Zeitpunkt gibt es noch keine.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	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: 447.242,89 €€
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Markus Roth	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: markus.roth@physik.tu-darmstadt.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

Effiziente lasergetriebene Neutronenquellen basieren auf einem Zweistufenprozess. Im ersten Schritt werden Protonen oder auch schwere Wasserstoffionen (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

Abweichend vom ursprünglichen Arbeitsplan, wird im Rahmen der Projektlaufzeit voraussichtlich keine Aufnahme eines 200l Gebindes als Testobjekt mit einer Lasergetriebenen Neutronenquelle gelingen (R-3). Aktuell ist für das Jahr 2024 kein Experiment mit einer Wiederholrfrequenz >> 10Hz geplant (N-6).

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. Das Liquid-Leaf target ist einsatzbereit für ein Laser-Plasma Experiment mit hoher Repetitionsrate und signifikanter Laserenergie im Bereich einiger Joule pro Puls. Das entwickelte Design (T2) ist apparativ umgesetzt (T3), so wurde z.B. der früher in Kupfer ausgeführte

„catcher“ für die Flüssigkeit des Liquid Leaf aus Aluminium in einer gut wärmeleitenden Legierung gefertigt und an Luft (T4), sowie im Vakuum (T5) getestet. Da sich der Catcher in unmittelbarer Nähe zum Wechselwirkungspunkt befindet, wird das Material durch die generierte Strahlung aktiviert. Für den praktischen Betrieb bei hoher Wiederholfrequenz und hoher mittlerer Laserleistung, eignet sich Aluminium hier besser als Kupfer. Die hinsichtlich der Geometrie – Form, Oberflächengüte und Toleranzen - kritische Düse des Catchers, mit einem Eingangsdurchmesser von ca. 325 Mikrometern, konnte erfolgreich in Kooperation mit der Firma Focused Energy GmbH auf deren hochpräzisen 5-Achse CNC Maschine gefertigt werden. Mit dem modifizierten Aufbau wurde die Lagestabilität des Liquid-Leaf mit einem Punkt-Konfokalsensor bei einer Abtastrate von 2kHz vermessen (T4); die Lageschwankungen auf kurzer Zeitskala liegen innerhalb eines Bereichs von weniger als +/- 0,5 Mikrometern und damit innerhalb der Rayleigh-Länge des Laserfokus. Eine langfristige thermische Drift kann online gemessen und soll künftig durch aktive Regelung, falls im konkreten Anwendungsfall von Nöten, kompensiert werden. Das Liquid Leaf ist in der Vakuum-Kammer aufgebaut und getestet worden (T5), Parameterstudien zur Stabilität und Vakuumlast (T6) wurden durchgeführt. Mit einer aktiven Vorkühlung des Wassers und einer im Rahmen dieses Projektes entwickelten Peltier-Kühlung und aktiven Regelung des Auffang-Gefäßes für die Rezirkulation, sowie des optimierten Catcher-Designs konnte ein stabiler Betrieb bei einem Kammerdruck von 5×10^{-5} mbar erreicht werden. Dies ermöglicht stabile Ionenbeschleunigung via des TNSA Mechanismus und ist auch ein hinreichend gutes Vakuum, um an verfügbaren Kurzpuls-Laser-Systemen experimentieren zu dürfen. In der Praxis wird an den einschlägigen Systemen ein Druck in der Vakuumkammer von 10^{-4} mbar oder besser verlangt, weil davon ausgegangen wird, dass im Restgas befindliche Kohlenwasserstoffe zu einer Schädigung der Gitter im Kompressor des CPA Laser-Systems beitragen. In einer Anlage, die explizit für die Laser-Neutronen Erzeugung mit einem Liquid-Leaf Target konzeptioniert und gebaut wird, lässt sich die Experiment-Kammer und die Kompressor-Vakuumkammer durch ein Pinhole und eine differenzielle Pumpstrecke apparativ voneinander trennen und so auch bei höheren Drück betreiben. Für das im März und April 2024 geplante Experiment (T8) am Polaris Laser in Jena, wird u.a. auch ein Schutzkonzept (T7) für die filigranen Glas-Düsen entwickelt. So kann die „direkte Sichtlinie“ zwischen Wechselwirkungspunkt und Düsen-Spitze geblockt werden. In früher von uns durchgeführten Experimenten, haben sich die von uns im Targetlabor der TU-Darmstadt hergestellten Düsen jedoch als überraschend widerstandsfähig herausgestellt. Ob sich dies bei Dauerbetrieb mit signifikanter mittlerer Leistung bewahrheitet, wird das Experiment zeigen. Die Auswertung (N4; N5, D9)und Publikation der experimentellen Ergebnisse (T9) ist für Juli-September 2024 geplant.

Die Berechnung der benötigten Neutronenflüsse (R4) und das Erstellen eines Gesamtkonzeptes (R5) ist in Zusammenarbeit mit der Focused Energy GmbH erfolgt. Ein Nachfolgeprojekt mit weiteren Industriepartnern ist beantragt, in dem ein Demonstrator einer lasergetriebenen Neutronen- und Röntgenquelle für die zerstörungsfreie Radiographie gebaut werden soll.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Unser Projektmitarbeiter Hr. Tim Jäger befindet sich aktuell wieder am Los Alamos National Laboratory (LANL) in den USA, um sein Experiment mit der LANSCE Neutronenquelle abzuschließen, bei der zerstörungsfrei ein Dummy-Abfallbehälter und „Miniatur-Brennelemente“ mit Neutronen untersucht werden sollen. Dies jedoch nicht mit „laser-erzeugten“ Neutronen. Es ist jedoch eine gute Möglichkeit das entwickelte Detektor-System zu testen und Daten für seine Promotion zu nehmen. Die Verteidigung seiner Arbeit ist für Ende 2024 geplant.

Das Liquid Leaf sowie Detektor und Konverter werden an einem hinreichend starken Laser mit einer Repetitionsrate von 1Hz arbeitet getestet. Das Experiment findet im März und April 2024 am Jeti-Laser des Helmholtz-Institut in Jena statt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Die TU-Darmstadt ist Projektpartner im BMBF-Nachfolgeprojekt „Planet“, welches von der Firma Focused Energy GmbH koordiniert und aktuell begutachtet wird. Dieses Projekt soll Mitte 2024 beginnen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Im zweiten Halbjahr 2023 sind keine Abschlussarbeiten bzw. Veröffentlichungen im Zusammenhang mit diesem Forschungsvorhaben erschienen. Eine Veröffentlichung ist Anfang 2024 eingereicht worden.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9436A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: AFRY Deutschland GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen, TP: Koordination und Erstellung der BIM Modelle	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2022 bis 30.09.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 75.963,73 €
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 kann die Anzahl der Abfallbehälter (Konradcontainer) optimiert und damit die Planung des Rückbaus verbessert werden. Ziel ist hier die Kostenreduktion durch Containerreduktion und damit die Schonung des Endlagervolumens. 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 der AFRY die Möglichkeit für Studierende des Bauingenieurwesens bzw. der Physik, sich mit dem Rückbau im Rahmen von interessanten und innovativen Arbeiten zu befassen. DABKO trägt so zum Kompetenzerhalt und zur 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
 Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells
 Arbeitspaket 3: Automatisierte Abschirmungsberechnung
 Arbeitspaket 4: Optimierung der Verpackungsplanung
 Arbeitspaket 5: Validierung des Optimierungsverfahrens
 Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank
 Arbeitspaket 7: Dokumentation

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

Zu AP1: Mehrere Treffen zur Koordination, der Abgrenzung der Arbeitsfelder und gegenseitige Schulungen zum gemeinsamen Verständnis der Problematik haben stattgefunden. Kontakt zwischen Betreibern von kerntechnischen Anlagen und Rückbaufirmen wurde hergestellt, um den Doktoranden ein Gefühl für die Aufgabe und die technischen Optionen zu geben.

Zu AP2: Es liegen für die Arbeiten die Modelle aktivierter Betonstrukturen aus drei Kernkraftwerken in verschiedenen Formaten vor. Die Daten stammen aus zwei deutschen und einem Schweizer AKW. Die Daten der kerntechnischen Anlagen und der Konrad Container (KC) wurden digitalisiert, die Formate abgestimmt und den Projektteilnehmern zur Verfügung gestellt.

Zu AP3: Zur Validierung der Methode hat AFRY den Kontakt zwischen der KTE und der TU Darmstadt hergestellt. Die Daten wurden für die Masterarbeit von Tim Ramaker (Ramaker, 2023) genutzt.

Zu AP4: Es wurden verschiedene Rückbauprojekte von aktivierten Betonstrukturen evaluiert. Dazu wurde mit den beteiligten Betreibern der kerntechnischen Anlagen, den Rückbauunternehmen und den Sachverständigen die praktische Zerlegung und Verpackung diskutiert.

Als Benchmark wurde eine händisch optimierte Verpackungsplanung für alle aktivierten Baustrukturen einer Vor-Konvoi-Anlage (Tragring, Tragschild und Biologischer Schild) vorgenommen (Abbildung 1). Uns gelang es, die Zerlegung in 69 Konrad Container vom Typ 3 zu realisieren und damit die ursprüngliche Planung mit ca. 100 KC vom Typ 3 deutlich zu unterbieten. Die von AFRY händisch optimierte Schnitt- und Verpackungsplanung wurde den Projektpartnern zur Verfügung gestellt (siehe Arbeitspaket 2).

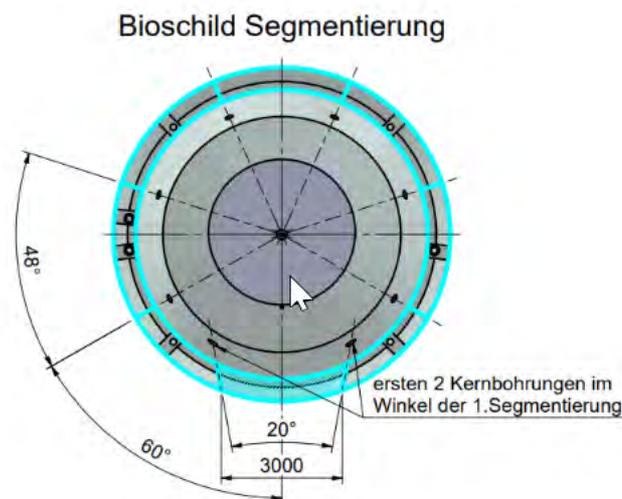


Abbildung 1: Aufsicht auf den biologischen Schild mit für die Verpackungsplanung optimierter Segmentierung. Die Positionierung wichtiger Bauteile (wie z.B. Kerninstrumentierung) wurde berücksichtigt.

Zu AP7: Begleitend zu den jeweiligen Arbeitspaketen findet eine kontinuierliche Dokumentation der Ergebnisse statt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Arbeiten der TU Darmstadt werden intensiv begleitet und versucht die Daten für das Arbeitspaket 6 aufzubereiten.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

/

6. Berichte und Veröffentlichungen

Poster auf der KONTEC 2023: A research project for digitally optimized deconstruction of activated structures.

Tim Ramaker, 2023 Konformitätsuntersuchungen an Monte-Carlo-basierten Dosisleistungsberechnungen zur Dosisleistungsreduktion im Außenraum eines gepackten Konrad-Containers, Masterarbeit Leibniz Universität Hannover & TU Darmstadt.
(<https://www.irs.uni-hannover.de/fileadmin/irs/Arbeiten/Master/masramak.pdf>)

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9436B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Darmstadt – Fachbereich Bau- & Umweltingenieurwissenschaften – Institut für Numerische Methoden im Bauwesen	
Vorhabenbezeichnung: VP: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen, TP: 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

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

Die Projektbeteiligten der Technischen Universität Darmstadt stehen im regelmäßigen Austausch mit den andern Projektbeteiligten. Im Rahmen regelmäßiger Treffen werden Maßnahmen zur Datenbeschaffung erörtert, 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

Wann immer der Optimierer für die Verpackungsplanung eine neue Anordnung der Segmente im Container errechnet, erfolgt die Aktualisierung der Dosisleistungsverteilung durch FLUKA. Die Einbettung von FLUKA in den globalen Optimierer erfordert die Schaffung einer Schnittstelle, z.B. in Form eines Shell-Skripts. Wichtige Arbeitsschritte sind die Schaffung dieser Schnittstelle, die automatisiert die voxelisierten Geometrien des Containers und der Schildsegmente an FLUKA übergibt, die Interpolation von Aktivitätskonzentrationen für die erzeugten Voxel innerhalb der Beton-Struktur auf Basis der Betreiberdaten und die Validierung der Physik in den Simulationen anhand von Testquellen und die Untersuchungen zur Laufzeitoptimierung der Simulationsrechnungen.

Arbeitspaket 4: Optimierung der Verpackungsplanung

Die Optimierung wurde bislang maßgeblich mit Reinforcement Learning-Methoden angegangen. Es stellt sich heraus, dass dieses Vorgehen für den in DABKO komplexen Fall der Optimierung Grenzen aufweist und auch in Kombination mit Heuristiken keine zufriedenstellenden Ergebnisse zu erwarten sind. Daher wird in AP 4 stark zwischen dem Schneiden und dem Verpacken unterschieden (siehe Abschnitt „Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse“) und jeweils individuell ein geeignetes Vorgehen überlegt.

Mithilfe geometrischer Operationen werden geplante Schnitte am Modell umgesetzt und in einem Containermodell verpackt. An diesem Container können weitere Rahmenbedingungen überprüft werden. Die finale Abschirmungsberechnung erfordert die Voxelierung des Containers, um die Informationen für FLUKA zu exportieren.

Arbeitspaket 5: Validierung des Optimierungsverfahrens

AFRY hat für ein spezifisches Kernkraftwerk die Ergebnisse einer manuellen Schnitt- und Verpackungsplanung vorgelegt. Diese sollen als Benchmark für das im Rahmen von DABKO zu entwickelnde digitale Verfahren dienen.

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

Arbeitspaket 7: Dokumentation

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

Arbeitspaket 1: Koordination des Gesamtvorhabens

Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells

AP 2 wurde im Wesentlichen abgeschlossen. Es wurde konkret ein Verfahren entwickelt, IFC-basierte Geometrien in die Game Engine Unity einzulesen und mit importierten Aktivitätsdaten zu überlagern. Durch entsprechende Datenbeschaffung liegen Quelldateien unterschiedlicher Biologischer Schilde vor. Bislang verfügt keines der Schilde über eine ortsgenaue Information der Armierung, jedoch wird die weitere Entwicklung in AP 3 + 4 aufgrund der jederzeit möglichen Generierung von eigenen Testdaten hierdurch nicht negativ beeinflusst.

Arbeitspaket 3: Automatisierte Abschirmungsberechnung

Die von der KTE gelieferten Daten ermöglichten eine Überprüfung der Konformität der FLUKA-Simulation mit den bekannten Messdaten. Simulations- und Messdaten zeigten sich im Rahmen der Unsicherheiten verträglich. Zusätzlich konnten bereits die Dauer der Simulationen durch Verwendung optimierter Suchalgorithmen deutlich reduziert und die Steuerung von FLUKA aus Windows heraus durch ein Skript realisiert werden. Das Skript übernimmt außerdem die

Verarbeitung der Informationen aus der Verpackungsplanung und die gleichzeitige Durchführung von einer hinreichenden Anzahl von Simulationsdurchläufen.

Arbeitspaket 4: Optimierung der Verpackungsplanung

Im vergangenen halben Jahr wurden Ansätze für die vorzunehmende Optimierung (konkreter: das Schneiden und anschließende Verpacken) recherchiert (AP 4.2). Für diese Teilprobleme existieren eigene Begriffe (Cutting Stock Problem bzw. Bin Packing/Nesting) und bereits bestehende Verfahren, die derzeit intensiv auf ihre Integration in DABKO geprüft werden. Es wurde festgelegt, dass in der Praxis das lamellenweise Abtragen vorteilhaft ist. Jede Lamelle wird nach dem Herauslösen auf einem Zerlegetisch weiter zerteilt, weshalb diese Vorgehensweise zunächst durch die Optimierung abgebildet werden soll.

Die Benutzeroberfläche der Anwendung wurde mittels der Game Engine Unity so weit abgeschlossen, als dass alle wesentlichen User-Interaktionen möglich sind. Derzeit werden Methoden implementiert, mit denen eine abgeschlossene Schnittplanung ansprechend in der Anwendung visualisiert/animiert wird (AP 4.5). Zusätzlich soll eine automatisiert erstellte PDF-Dokumentation ausgegeben werden. Diese „Rückbauanleitung“ enthält u.a. bemaßte Pläne der digital gepackten Container.

Die Implementierung der Erstellung der Schnittgeometrien und das Verpacken der Schnittlemente auf Basis einer Austauschdatei sind bereits erfolgt. Zudem ist bereits die Voxelierung des verpackten Containers, sowie der Export nach FLUKA möglich.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Weitere Bearbeitung des Arbeitsplans entsprechend Zeitplan des Projektantrags. Vorrangig werden im kommenden Halbjahr AP 4.2 (Entwicklung der Algorithmen) und der Datenaustausch bzw. die Feedbackschleifen zwischen der Optimierung und FLUKA bearbeitet. Auf Seiten der Dosisleistungssimulation wird außerdem an der gleichzeitigen Simulation mehrerer Nuklide. Darüber hinaus wird ein Prüfskript erstellt, das die simulierten Dosisleistungen mit den Grenzwerten aus den Annahmebedingungen für einen Konrad-Container vergleicht und gegebenenfalls Warnungen für Überschreitungen ausgibt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keinen

6. Berichte und Veröffentlichungen

DABKO präsentierte sich auf der KONTEC 2023 in Dresden. Hierfür wurde unter Mitwirkung aller Projektbeteiligten ein Poster erstellt („DABKO - A research project for digitally optimized deconstruction of activated structures“).

Tim Ramaker, 2023 Konformitätsuntersuchungen an Monte-Carlo-basierten Dosisleistungsberechnungen zur Dosisleistungsreduktion im Außenraum eines gepackten Konrad-Containers, Masterarbeit Leibniz Universität Hannover & TU Darmstadt.

(<https://www.irs.uni-hannover.de/fileadmin/irs/Arbeiten/Master/masramak.pdf>)

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9436C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: TÜV SÜD Energietechnik GmbH Baden-Württemberg	
Vorhabenbezeichnung: VP: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen, TP: 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

Regelmäßiger virtueller und persönlicher Austausch zwischen den Projektbeteiligten. Alle Projektbeteiligten sind über die Aktivitäten der anderen Projektbeteiligten informiert.

Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells

Eine Abstimmung zu AP 2.3 hat stattgefunden. Das Arbeitspaket ist abgeschlossen.

Arbeitspaket 3.2: Verifikation der Abschirmungsberechnungen

Keine.

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

Teilnahme an einer Schulung der BGE zum aktuellen Stand des Projektes Nuclear Waste Logistics (NWL) der BGE.

Arbeitspaket 7: Dokumentation

Interne Notizen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Beginn der Bearbeitung des AP 6 (Schaffung einer zusätzlichen Datenbank) und weitere Abarbeitung des Arbeitsprogramm entsprechend des Zeitplans des Projektantrags.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Poster auf der KONTEC 2023: A research project for digitally optimized deconstruction of activated structures.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9443
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität München, ZTWB Radiochemie München (RCM)	
Vorhabenbezeichnung: Aus- und Weiterbildung sowie Kompetenzerhalt im Bereich der zerstörungsfreien Analyse von radioaktiven Stoffen und Abfallprodukten aus Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2023 bis 31.05.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 911.614,21 €
Projektleiter: Dr. Thomas Bücherl	E-Mail-Adresse des Projektleiters: Thomas.buecherl@tum.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Vorhaben hat die Ausbildung, Fortbildung und Weiterbildung, den Kompetenzerhalt sowie die Vermittlung von allgemeinen Informationen aus den Bereichen Produktkontrolle und Charakterisierung radioaktiver Abfälle zum Ziel. Eine auf einem Content Management System (CMS) basierende Webplattform zur Vermittlung der Lerninhalte und Informationen aus den Bereichen Produktkontrolle und Charakterisierung radioaktiver Abfälle wird realisiert.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Vorhaben ist unterteilt in die vier Arbeitspakete

- AP 1: „Technische Realisation“,
- AP 2: „Vermittlung der Lerninhalte“,
- AP 3: „Kommunikation“ und
- AP 4: „Summer School“

In AP 1 wird die erforderliche Infrastruktur für die Realisierung des Vorhabens bereitgestellt die mit den Lerninhalten aus AP 2 gefüllt wird. Mit AP 3 wird der Verbreitung der Vorhabenergebnisse Rechnung getragen. Im Rahmen einer „Summer School“ (AP 4) werden die im Vorhaben erarbeiteten Themengebiete in direktem Kontakt einem kleinen Personenkreis vermittelt. Die Bearbeitung der Arbeitspakete und ihrer Unterpunkte kann zum Teil unabhängig und parallel realisiert werden.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Die Arbeiten im zweiten Halbjahr 2023 gliederten sich in drei Teilaspekte:

1. Bereitstellung der Infrastruktur (AP 1),
2. Erarbeitung der Inhalte für ausgewählte Themengebiete (AP 2) und
3. Arbeiten am Webauftritt (AP 1 und 2)

Für das Hosten des Content Management Systems (CMS) wurde die Firma IONOS gewählt (AP 1.1) und dort das CMS Joomla! mit verschiedenen Erweiterungen installiert (AP 1.2). Alle Komponenten werden ständig auf dem aktuellen Stand gehalten und Updates oder verfügbare Upgrades regelmäßig eingespielt. Ein Backup-Modul zur Datensicherung wurde implementiert

sowie eine vorläufige Oberfläche für die Webseite www.eductum.de erstellt und freigegeben (AP 1.3). Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass es sich hierbei nicht um das endgültige Layout handelt, da der Fokus der aktuellen Arbeiten sich auf die Erarbeitung der Inhalte und nicht auf die Darstellung bezieht. Der Öffentlichkeit ist derzeit nur die Vorhabenbeschreibung zugänglich, einem eingeschränkten Nutzerkreis zusätzlich eine noch in Überarbeitung befindliche Liste der strukturellen Inhalte (AP 2.1).

Die Arbeiten haben gezeigt, dass die vorgesehene Containerlösung unter dem Betriebssystem MS Windows (AP 1.5 und 1.6) nicht realisierbar ist, da dieses Betriebssystem keine grafischen Oberflächen in Containern zulässt. Dies ist aber für die Bereitstellung von (kommerziellen) Programmen und eigener Programmmodule aus früheren FuE-Projekten zu Demonstrations- und Übungszwecken sowie zur Durchführung realer Messungen in Echtzeit unabdingbar. Nachdem zur Lösung dieses Problems verschiedene „Workarounds“ erfolglos bzw. mit nur bedingter Nutzbarkeit getestet wurden, wurde als funktionsfähige Alternative für den Container-basierten Ansatz der Einsatz einer speziellen Multi-Session-fähigen Software gewählt, die Remote Access nutzt und sogenanntes Farming unterstützt. Die Machbarkeit wurde vorab beim Unterauftragnehmer Marschelke Messtechnik verifiziert. In einer dort aufgesetzten virtuellen Maschine wurden eine Testversion des Remote Access Programms sowie das Spektroskopieprogramm „Lvis“ installiert und konfiguriert. Damit konnte der externe Zugriff auf das Programm „Lvis“ über eine Internetadresse und die vollständige Steuerung des Programms demonstriert werden. Auch der Sicherheitsaspekt, d. h. die Beschränkung des Zugriffs des externen Nutzers nur auf extra freigegebene Programme ohne weitere Zugriffsrechte wurde verifiziert.

Für die im ersten Halbjahr 2024 anstehende Evaluierung des Vorhabens wurde aus der vorläufigen Liste der strukturellen Inhalte (AP 2.1) das Themengebiet „segmentiertes Gamma-Scanning“ ausgewählt (AP 2.2) und mit der Erstellung der statischen Texte begonnen. Parallel hierzu werden bereits auch die Themengebiete „Produktkontrolle“ und „Detektorsysteme“ bearbeitet. Für die Unterstützung bei der Berücksichtigung des didaktischen Aspekts in der Wissensvermittlung wurde Kontakt mit dem Lehrstuhl für Lehren und Lernen mit Digitalen Medien der TUM School of Social Sciences and Technology aufgenommen und weitere gemeinsame Schritte geplant.

Dem AP 3 („Kommunikation“) wurde mit einem Beitrag auf der KONTEC 2023 sowie den ersten Beiträgen auf der Webseite www.eductum.de Rechnung getragen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Arbeiten im ersten Halbjahr 2024 fokussieren sich auf die Durchführung der für die Evaluierung (AP 2.3) erforderlichen Arbeiten, bei der die prinzipielle Idee des Vorhabens und ihre praktische Umsetzung demonstriert werden soll. Hierzu gehören unter anderem:

- Demonstration der vorgesehenen Umsetzung des Themenbereichs „segmentiertes Gamma-Scanning“ auf der Lern- und Wissensplattform EducTUM.
- Realisierung des Zugriffs auf Inhalte auf den externen PCs über das CMS (AP 1.7) zur Demonstration der Nutzung (kommerzieller) Programme.

Parallel zu diesen Arbeiten sollen weitere Bereiche in die Webseite integriert und freigeschaltet werden. Hierzu gehören die (endgültige) Liste der zu bearbeitenden Themengebiete (AP 2.1) sowie, falls zeitlich möglich, der Bereich Blogs und FAQs (AP 1.4). Weitere Arbeiten betreffen die Überarbeitung des Layouts (AP 1.3).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keiner

6. Berichte und Veröffentlichungen

T. Bücherl, H. Marschelke, S. Rummel, A. Kastenmüller, C. Lierse von Gostomski, Aus- und Weiterbildung sowie Kompetenzerhalt im Bereich der zerstörungsfreien Analyse von radioaktiven Stoffen und Abfallprodukten aus Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen, 16. Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“, 30.8. – 1.9.2023, International Congress Center Dresden.

Berichtszeitraum: 01.09.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9446A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (Universitätsaufgabe) - Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften - Institut für Technologie und Management im Baubetrieb	
Vorhabenbezeichnung: VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebänden TP: Konzeption, Bau des Demonstrators und Durchführung von Test- und Praxisphase	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2023 bis 31.08.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 567.564,65 € (inkl. Projektpauschale)
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing Sascha Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiter/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Gesamtziel des Forschungsantrages ZIKA ist es, die Innenkorrosion an radioaktiven Fassgebänden mittels zerstörungsfreier Prüfung (ZfP) automatisch zu erkennen. Diese neu gewonnenen Erkenntnisse werden mit den bisherigen Forschungsergebnissen des Vorgängerprojektes EMOS kombiniert, das sich mit äußeren Schadenseinwirkungen der Fassgebände beschäftigte. So können speziell Innenkorrosion und sowie mögliche innere Schadensquellen erkannt werden, bevor diese zum sicherheitsrelevanten Problem werden. Bislang konnte Innenkorrosion erst erkannt werden bei z.B. Blasenbildung an der Lackierung des Fassgebändes oder äußerlichen Veränderungen der Oberfläche. Wenn innere Schäden jedoch äußerlich bereits zu erkennen sind, ist die Integrität des beschädigten Fassgebändes nicht mehr gegeben, was erhebliche Konsequenzen nach sich zieht. Deshalb ist eine Früherkennung vor Ausfall der Integrität von besonderer Bedeutung für Zwischenlager mit schwach- und mittelradioaktiven Abfallgebänden.

Die Umsetzung des Projekts erfolgt durch vier Verbundpartner. Das Karlsruher Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (KIT-TMB), Fachbereich Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke, erstellt die Konzeption und baut den Demonstrator, basierend auf den Arbeiten des Vorgängerprojektes, und führt die Praxistests durch. Als Spezialist für ZfP-Verfahren wird die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), die Erkennung der Innenkorrosion mittels Thermografie, Ultraschall, Laservibrometrie, Magnetische Streuflussmessung und Wirbelstrom untersuchen. Diese Verfahren werden möglichst realitätsnah, systematisch untersucht und evaluiert. Als direkter Anwender des Demonstrators fungiert die Landessammelstelle Berlin (ZRA). Der einheitliche, maschinelle und automatisierte Inspektionsprozess würde zu einer erheblichen Reduktion der Aufwände bei der Landessammelstelle führen. In diesem Zusammenhang stellt die Zusammenarbeit mit den Kraftanlagen Heidelberg GmbH (KAH), Teil der Nuklearen Division von Bouygues Construction Expertise Nucleaire, ein enormes Potenzial dar, das System sowohl in Deutschland als auch im Ausland bekannt zu machen und einzusetzen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Forschungsprojekt ZIKA setzt sich aus folgenden Arbeitspaketen zusammen:

AP0: Planungs- und Projektberatung die gesamte Projektlaufzeit durch KAH und ZRA

AP1: Grundlagenarbeiten

AP2: Voruntersuchung

AP3: Bestimmung des Parameterraums

AP4: ZfP-Auswahl

AP5: Softwareentwicklung

AP6: Konzeptionelles Systemdesign

AP7: Komponentenzusammenstellung

AP8: Bau des Demonstrators

AP9: Sensorikinstallation

AP10: Test- und Validierungsphase

AP11: Praxisphase

AP12: Evaluierung

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

Das Verbundprojekt ZIKA startete am 1. September 2023. Im Anschluss an die internen Organisationsphasen wurde Mitte Oktober das erste Projekttreffen in den Räumlichkeiten des KITs mit alle Verbundpartner durchgeführt. Ziel des Treffens war es, die Organisation in dem Projekt zu definieren und die ersten Arbeitspakete zeitlich einzuplanen und abzustimmen. Darauf aufbauend wurde direkt die Weiterentwicklung der bestehenden EMOS-Anlage geplant. Das zweite Projekttreffen fand Mitte Dezember bei der ZRA Berlin statt. Bei der Besichtigung der Zwischenlagerungseinrichtung von radioaktiven Abfällen und insbesondere bei Gesprächen mit dem Anlagenbetreiber (ZRA) wurde ein Fokus auf die zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten für die Praxisphase gelegt, da das Projekt speziell an die Bedürfnisse der späteren Anwender angepasst werden soll. Zudem wurde sich ein Bild von den zu inspizierenden, lagernden Abfallgebinden gemacht.

Im Fokus des Arbeitspaket 1 wurde eine ausführliche Recherchearbeit inklusive Literaturstudie zur Thema Korrosion durchgeführt. Der Schwerpunkt lag dabei insbesondere auf der Erkennung von Schadstellen und Innenkorrosion, welche unterhalb der Beschichtung oder innerhalb des Fass verborgen und für visuelle Kameras nicht sichtbar sind. Hier wurde eine Grundlagenarbeit durchgeführt, um die Erscheinungsformen von Innenkorrosion, zu identifizieren. Anhand dieser Datensammlung wird ein Fehlerkatalog von zerstörungsfreien Prüfverfahren (ZfP) erstellt. Dieser wird insbesondere die untere und obere Nachweisgrenzen für die fünf potentielle ZfP Verfahren festlegen, welche im weiteren Projektverlauf zu testen sind. Außerdem wurde eine Überprüfung der physikalischen Eigenschaften der 200-Liter-Fässer durchgeführt, in denen schwach- und mittelradioaktive Abfälle gelagert werden.

Im Fokus des Arbeitspaket 2 wurde bisher zusammen mit den Projektpartnern unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Qualifizierung geeigneter ZfP-Verfahren Probekörper definiert, anhand derer eine quantitative Bewertung der einzelnen Methoden und Verfahren möglich sein soll. Die erforderliche Probenmaterial für die Durchführung der experimentellen Voruntersuchungen wurde von KIT-TMB geschaffen. Hierzu wurden unterschiedlichen Modell von 200-L Stahl-Fässern mit einem Korrosionsschutz aus Epoxidharz entnommen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

In den nächsten Monaten erfolgt die Vorbereitung der Probekörper mit Herstellung von künstlichen Fehlern, basierend auf dem Fehlerkatalog. Diese Probekörper werden von der BAM mittels fünf potentielle Verfahren (Thermografie, Ultraschall, Laservibrometrie, Magnetische Streuflussmessung und Wirbelstrom) untersucht. Basierend auf den Vorversuchen wird, im Rahmen des Arbeitspaket 3, die Planung und Auswahl geeigneter Messtechnik für den entwickelnden Demonstrator erfolgen.

Parallel dazu wird ein Lastenheft unter Berücksichtigung der Anforderungen der Hauptanwendung erstellt. Hierzu wird auf die Zwischenlageranforderungen sowie Gegebenheiten und Rahmenbedingungen in kerntechnischen Anlagen hinsichtlich Lagerung und der Handhabung der Fässer zurückgegriffen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Folgeprojekt des Forschungsprojekts „Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebinde (EMOS)“ mit dem BMBF Förderkennzeichen FKZ 15S9520.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Kurzvorstellung des Projektes auf der Homepage des TMB:

https://www.tmb.kit.edu/Forschungsprojekte_7870.php

Berichtszeitraum: 01.09.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9446B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)	
Vorhabenbezeichnung: VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebinden, TP: Untersuchung und Bewertung der Eignung verschiedener ZfP-Verfahren, sowie Hard- und softwaremäßige Unterstützung bei der Integration von ZfP-Verfahren in den Demonstrator.	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2023 bis 31.08.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 289.823,13 €
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Julien Lecompanion	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: julien.lecompagnon@bam.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Gesamtziel des Forschungsantrages ZIKA ist es, die Innenkorrosion an radioaktiven Fassgebinden mittels zerstörungsfreier Prüfung (ZfP) automatisch zu erkennen. Diese neu gewonnenen Erkenntnisse werden mit den bisherigen Forschungsergebnissen des Vorgängerprojektes EMOS kombiniert, das sich mit äußeren Schadenseinwirkungen der Fassgebände beschäftigte. So können speziell Innenkorrosion und sowie mögliche innere Schadensquellen erkannt werden, bevor diese zum sicherheitsrelevanten Problem werden. Bislang konnte Innenkorrosion erst erkannt werden bei z.B. Blasenbildung an der Lackierung des Fassgebändes oder äußerlichen Veränderungen der Oberfläche. Wenn innere Schäden jedoch äußerlich bereits zu erkennen sind, ist die Integrität des beschädigten Fassgebändes nicht mehr gegeben, was erhebliche Konsequenzen nach sich zieht. Deshalb ist eine Früherkennung vor Ausfall der Integrität von besonderer Bedeutung für Zwischenlager mit schwach- und mittelradioaktiven Abfallgebänden.

Die Umsetzung des Projekts erfolgt durch vier Verbundpartner: dem Karlsruher Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (KIT-TMB), Fachbereich Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke, der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), der Landessammelstelle Berlin (ZRA) und der Kraftanlagen Heidelberg GmbH (KAH), Teil der Nuklearen Division von Bouygues Construction Expertise Nucleaire.

Zielsetzung der BAM im Projekt ZIKA ist es, geeignete ZfP-Verfahren zur Detektion von Innenkorrosion an Fassgebänden mit verschiedenen Füllzuständen zu identifizieren, zu validieren und die geeigneten Verfahren für den automatisierten Einsatz in der Demonstratoranlage weiterzuentwickeln und im Testbetrieb zu verifizieren. Schwerpunktmäßig werden dazu verschiedene Ausprägungen der aktiven Infrarotthermografie, Ultraschall- und Wirbelstromprüfverfahren untersucht und deren Anwendbarkeit quantifiziert.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Forschungsprojekt ZIKA setzt sich aus folgenden Arbeitspaketen zusammen:

AP0: Planungs- und Projektberatung die gesamte Projektlaufzeit durch KAH und ZRA

AP1: Grundlagenarbeiten

AP2: Voruntersuchung

AP3: Bestimmung des Parameterraums

AP4: ZfP-Auswahl

AP5: Softwareentwicklung

AP6: Konzeptionelles Systemdesign

AP7: Komponentenzusammenstellung

AP8: Bau des Demonstrators

AP9: Sensorikinstallation

AP10: Test- und Validierungsphase

AP11: Praxisphase

AP12: Evaluierung

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

Das Verbundprojekt ZIKA startete am 1. September 2023. Im Anschluss an die internen Organisationsphasen wurde Mitte Oktober das erste Projekttreffen in den Räumlichkeiten des KITs mit alle Verbundpartner durchgeführt. Ziel des Treffens war es, sowohl die Möglichkeiten und Technologien der EMOS-Inspektionssystem näher zu diskutieren, aber auch die Weiterentwicklung zu planen. Das zweite Projekttreffen fand Mitte Dezember bei der ZRA Berlin statt. Bei der Besichtigung der Zwischenlagerungseinrichtung von radioaktiven Abfällen und insbesondere bei Gesprächen mit dem Anlagenbetreiber (ZRA) wurde ein Fokus auf die zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten für die Praxisphase gelegt, da das Projekt speziell an die Bedürfnisse der späteren Anwender angepasst werden soll. Zudem wurde sich ein Bild von den zu inspizierenden, lagernden Abfallgebinden gemacht.

Im Arbeitspaket AP1 wurde eine ausführliche Recherche des Standes der Technik zur Erkennung von Korrosion mittels der infrage kommenden ZfP-Methoden (Thermografie, Ultraschall, Magnetische Streuflussmessung, Wirbelstromprüfung, Laservibrometrie) durchgeführt. Dabei wurden für jedes der Methoden mögliche Prüfverfahren identifiziert, die im weiteren Projektverlauf nähergehend auf ihre Eignung zur zuverlässigen Korrosionsdetektion unter den gegebenen experimentellen Bedingungen untersucht werden sollen.

Im Arbeitspaket AP2 wurde bisher zusammen mit den Projektpartnern unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Qualifizierung geeigneter ZfP-Verfahren Probekörper definiert, anhand derer eine quantitative Bewertung der einzelnen Methoden und Verfahren möglich sein soll. Eine Bereitstellung der Probekörper durch das KIT ist in Arbeit.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im nächsten Berichtszeitraum soll die Recherchearbeit aus AP1 komplettiert werden, sodass sich ein vollständiges Bild aller in Frage kommender Verfahren darstellt. Nach Erhalt der ersten realistischen Probekörper kann dann direkt mit deren Qualifizierung mittels Referenzverfahren begonnen werden, um die dort vorhandenen Schäden exakt als Referenzwert für spätere quantitative Vergleiche in Form und Lage zu bestimmen und die für die weitere Untersuchung notwendigen Materialparameter zu ermitteln.

Hieran schließt sich die Bearbeitung des Arbeitspakets AP3 an, bei dem mit einer detaillierten Bestimmung der notwendigen Parameter der einzelnen Methoden begonnen wird. Dies soll

sowohl durch numerische Simulation erfolgen als auch durch praktische Versuche an den im Voraus qualifizierten Probekörpern.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Folgeprojekt des Forschungsprojekts „Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebinde (EMOS)“ mit dem BMBF Förderkennzeichen FKZ 15S9520.

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.09.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9446C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Kraftanlagen Heidelberg GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebänden, TP: Planung und Projektberatung, sowie Vernetzung mit Experten aus dem Bereich der Kerntechnik	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2023 bis 31.08.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 70.043,72 €
Projektleiter/-in: Jonas Braun	E-Mail-Adresse des/der Projektleiter/-in: jonas.braun@bcen-kraftanlagen.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Gesamtziel des Forschungsantrages ZIKA ist es, die Innenkorrosion an radioaktiven Fassgebänden mittels zerstörungsfreier Prüfung (ZfP) automatisch zu erkennen. Diese neu gewonnenen Erkenntnisse werden mit den bisherigen Forschungsergebnissen des Vorgängerprojektes EMOS kombiniert, das sich mit äußeren Schadenseinwirkungen der Fassgebände beschäftigte. So können speziell Innenkorrosion, sowie mögliche innere Schadensquellen erkannt werden, bevor diese zum sicherheitsrelevanten Problem werden. Bislang konnte Innenkorrosion erst erkannt werden bei z.B. Blasenbildung an der Lackierung des Fassgebändes oder äußerlichen Veränderungen der Oberfläche. Wenn innere Schäden jedoch äußerlich bereits zu erkennen sind, ist die Integrität des beschädigten Fassgebändes nicht mehr gegeben, was erhebliche Konsequenzen nach sich zieht. Deshalb ist eine Früherkennung vor Ausfall der Integrität von besonderer Bedeutung für Zwischenlager mit schwach- und mittlerradioaktiven Abfallgebänden.

Die Umsetzung des Projekts erfolgt durch vier Verbundpartner. Das Karlsruher Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (KIT-TMB), Fachbereich Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke, erstellt die Konzeption und baut den Demonstrator, basierend auf den Arbeiten des Vorgängerprojektes, und führt die Praxistests durch. Als Spezialist für ZfP-Verfahren wird die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), die Erkennung der Innenkorrosion mittels Thermografie, Ultraschall, Laservibrometrie, Magnetische Streuflussmessung und Wirbelstrom untersuchen. Diese Verfahren werden möglichst realitätsnah, systematisch untersucht und evaluiert.

Als direkter Anwender des Demonstrators fungiert die Landessammelstelle Berlin (ZRA). Der einheitliche, maschinelle und automatisierte Inspektionsprozess würde zu einer erheblichen Reduktion der Aufwände bei der Landessammelstelle führen. In diesem Zusammenhang stellt die Zusammenarbeit mit den Kraftanlagen Heidelberg GmbH (KAH), Teil der Nuklearen Division von Bouygues Construction Expertise Nucleaire, ein enormes Potenzial dar, das System sowohl in Deutschland als auch im Ausland bekannt zu machen und einzusetzen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Forschungsprojekt ZIKA setzt sich aus folgenden Arbeitspaketen zusammen:

- AP0:** Planungs- und Projektberatung
- AP1:** Grundlagenarbeiten
- AP2:** Voruntersuchung
- AP3:** Bestimmung des Parameterraums
- AP4:** ZfP-Auswahl
- AP5:** Softwareentwicklung
- AP6:** Konzeptionelles Systemdesign
- AP7:** Komponentenzusammenstellung
- AP8:** Bau des Demonstrators
- AP9:** Sensorikinstallation
- AP10:** Test- und Validierungsphase
- AP11:** Praxisphase
- AP12:** Evaluierung

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

Das Verbundprojekt ZIKA startete am 1. September 2023. Im Anschluss an die internen Organisationsphasen wurde Mitte Oktober das erste Projekttreffen in den Räumlichkeiten des KITs mit alle Verbundpartnern durchgeführt. Ziel des Treffens war es, die Organisation in dem Projekt zu definieren und erste Arbeiten abzustimmen. Darauf aufbauend wurde direkt die Weiterentwicklung der bestehenden EMOS-Anlage geplant. Das zweite Projekttreffen fand Mitte Dezember bei der ZRA Berlin statt. Bei der Begehung des Zwischenlagers von radioaktiven Abfällen und insbesondere in den Gesprächen mit dem Anlagenbetreiber (ZRA) wurde ein Fokus auf die, zur Verfügung stehenden, Räumlichkeiten für die Praxisphase gelegt, da das Projekt speziell auf die Bedürfnisse der späteren Anwender ausgerichtet werden soll. Zudem wurde sich ein Bild von den zu inspizierenden, lagernden Abfallbinden gemacht.

Im Rahmen des **AP0** „Planungs- und Projektberatung“ sind erste Rechercharbeiten zu den kerntechnischen Randbedingungen sowie den Anforderungen unterschiedlicher relevanter Interessensgruppen (Betreiber, Gutachter, Behörden) begonnen worden. In diesem Zuge wurden die bestehenden Kontakte zu potenziellen Anwendern intensiviert um deren Anforderungen, Auflagen und aktuellen Rahmenbedingungen abzufragen.

Im Fokus des **AP 1** „Grundlagenarbeiten“ wurde eine ausführliche Rechercharbeit inklusive Literaturstudie zur Thema Korrosion durchgeführt. Anhand dieser Datensammlung wird ein Fehlerkatalog von zerstörungsfreien Prüfverfahren (ZfP) erstellt. Außerdem wurde eine Überprüfung der physikalischen Eigenschaften der 200-Liter-Fässer durchgeführt, in denen schwach- und mittelradioaktive Abfälle gelagert werden.

Im Fokus des **AP 2** „Voruntersuchung“ wurden bisher zusammen mit den Projektpartnern unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Qualifizierung geeigneter ZfP-Verfahren Probekörper definiert. Die erforderlichen Probenmaterialien für die Durchführung der experimentellen Voruntersuchungen wurde von KIT-TMB geschaffen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Der Kontakt zu potenziellen Anwendern soll im kommenden Berichtszeitraum weiter intensiviert und die daraus resultierenden Erkenntnisse im Hinblick auf die Entwicklung bewertet werden. (AP0)

In den nächsten Monaten erfolgt die Vorbereitung der Probekörper mit Herstellung von künstlichen Fehlern, basierend auf dem Fehlerkatalog. Diese Probekörper werden von der BAM mittels fünf potenzieller Verfahren (Thermografie, Ultraschall, Laservibrometrie, Magnetische Streuflussmessung und Wirbelstrom), untersucht. Basierend auf den Vorversuchen wird, im

Rahmen des AP3, die Planung und Auswahl geeigneter Messtechnik für den zu entwickelnden Demonstrator erfolgen.

Parallel dazu wird ein Lastenheft unter Berücksichtigung der Anforderungen der Hauptanwendung erstellt. Hierzu wird auf die Zwischenlageranforderungen sowie Gegebenheiten und Rahmenbedingungen in kerntechnischen Anlagen hinsichtlich Lagerung und der Handhabung der Fässer zurückgegriffen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Folgeprojekt des Forschungsprojekts „Entwicklung eines mobilen, automatisierten, optischen Inspektionssystems für radioaktive Fassgebinde (EMOS)“ mit dem BMBF Förderkennzeichen FKZ 15S9520.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Projektflyer zur Vorstellung des Vorhabens auf der WNE2023 in Paris

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9437A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Friedrich-Schiller-Universität Jena (FSU)	
Vorhabenbezeichnung: VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse TP: 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: 450.719,50 €
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 End-lager 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 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, 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 ECOLEGO

AP-3: 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

Während des Berichtszeitraums konnte die Doktorandenstelle nach einem erneuten Auswahlverfahren nicht besetzt werden. Die Laborlysimeter wurden planmäßig weiter mit Grimsel (GTS) – Grundwasser betrieben und physikochemische und hydraulische Parameter im Monitoring überwacht, wobei es aus technischen Gründen zu Datenlücken im Berichtszeitraum gekommen ist. Die technischen Schwierigkeiten, welche im vorangegangenen Berichtszeitraum durch die Klimakammer bekannt waren, setzten sich bis zur Änderung des Standortes in 12/23 fort. Die Lysimeter befinden sich in einer neuen Klimakammer, wo sich jedoch aufgrund der technischen Gegebenheiten die Randbedingungen zur Durchführung aller assoziierten AP hinsichtlich der Temperatur auf 20 °C verändern. Im Rahmen von Vorexperimenten zur Bepflanzung der Lysimeter (AP3) wurde die Ausscheidung von Wurzelexsudaten der Buschbohne (*Phaseolus vulgaris* var. *nanus*) im Kontakt mit Se in hydroponischen Systemen untersucht. Während des initialen Kontaktes zeigte sich eine Verringerung der Ausscheidung von Exsudaten (gemessen als Summenparameter DOC mittels LC-OCD) und pflanzenphysiologische Defizite bei einer Konzentration von 2.0 mg l⁻¹ im Vergleich zu 0 mg l⁻¹. Letztere Unterschiede manifestierten sich zudem in Trockenmassen. Eine weiterführende LC-OCD Datenanalyse erfolgt in einer anschließenden Arbeit. Pflanzenproben wurden für weiterführende Aufschlüsse zur Untersuchung der Verteilung von Se in Pflanzenkompartimenten vorbereitet. Aufgrund der Nährlösungszusammensetzung konnte die Se Speziation mittels Ionenchromatographie nicht gemessen werden, wodurch auch hier Anpassungen in Abstimmung mit den Projektpartnern vorgenommen werden. Im Zusammenhang mit AP3 wurde die Interaktion von Selenit mit Illit oder extrahierter organischer Substanz (NOM) aus Refesols 01A und 04A in binären Systemen und im ternären System untersucht. Im ternären System konnte eine initiale Sorption vor allem humin- und fulvinartiger Substanzen sowie der Neutralstofffraktion von NOM an Illit beobachtet werden. Se zeigte in der Interaktion mit Illit sowie den Extrakten der organischen Substanz eine größenabhängige (> 50 nm, < 50 nm, < 1 kDa) Konzentrationsabnahme, die sich jedoch im geringen Unterschied zur initialen Se Konzentration befand.

4. Geplante Weiterarbeit

Die eingeplante Doktorandenstelle soll besetzt werden. Zum Angleich der physikochemischen Parameter in Lysimetern in der neuen Klimakammer werden die geplanten Wasserspiegelschwankungen (AP1) ab 04/24 nach einer Referenz-Wassreprobenahme durchgeführt. Die Ergebnisse von AP1 werden mit den Partnern LUH-IRS verglichen und mit Öl und UB hinsichtlich der modelltechnischen Implementierung diskutiert (AP2). Die Interaktion von Se im ternären System mit Illit und extrahierter organischer Substanz wird unter Verwendung spezieller Kolloidanalytik (FFF-ICP, LC-OCD, Ultrafiltration) durchgeführt. Im Zusammenhang mit AP3 werden Topfexperimente mit *Phaseolus vulgaris* im Refesol 01A zur Aufnahme von Se und weiteren Elementen geplant.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Günther, A.-L. (2023). Interaction between illite, organic matter and selenite in two-phase

systems - Preparation and characterization of the individual components. Projektmodularbeit, MBGW, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9437B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover / Institut für Radioökologie und Strahlenschutz (IRS) und Institut für Zellbiologie und Biophysik (IfB)	
Vorhabenbezeichnung: VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse (TRAVARIS), TP: 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)

AP-1a: Für die Remobilisierung von RN in Lysimetern wurde der Wasserstand in allen Lysimetern schrittweise um 15 cm erhöht (auf 22 cm unter der Oberfläche). Nach der anschließenden Rückdrainage wurde – außer beim Plutonium-Lysimeter - die aufgefangene Bodenlösung innerhalb von 5 Monaten portionsweise zurückgeführt. Kontinuierlich entnommene Porenwasserproben aus drei Tiefen (31, 17, 3 cm) lagen für die Pu-238- und Am-243-Lysimeter allesamt unterhalb der Nachweisgrenze. Für die bisher untersuchten Proben aus den Tc-99- und I-125-Lysimetern ist eine Zunahme der Aktivitätskonzentration von unten nach oben zu beobachten. Aufgrund einer Leckage wurde das Pu-238-Lysimeter nicht weiter betrieben, sondern der Boden für die weitere Analyse schichtweise abgetragen.

AP-2a: Aus ersten Tracer-Versuchen mit Bohnenpflanzen in Rhizoboxen (siehe AP-3a), sowie aus ungetracerten Kontrollboxen wurden Proben aus Rhizosphäre und nicht durchwurzeltem Boden entnommen. Die mikrobielle DNA wurde aus 250 mg Bodenproben mit den DNeasy PowerSoil Pro Kits extrahiert und die DNA-Menge mit einem Nanodrop-Spektrophotometer gemessen. Die extrahierte DNA-Menge war vergleichsweise gering, weshalb an einer Optimierung der Probenaufbereitung gearbeitet wird.

AP-3a: Es wurden erste Versuche mit Bohnen (*Phaseolus vulgaris*) in RefeSol 01-A in Rhizoboxen mit Tc-99 bzw. I-125 als Tracer durchgeführt. Die insgesamt aufgenommene Tracermenge war für Tc-99 größer als für I-125. Bezogen auf die Gesamt-Tracermenge wurde Tc-99 zum größten Teil in den Blättern wiedergefunden (51% Blatt/2% Spross/1% Wurzel), I-125 in der Wurzel (0,2 % Blatt/0,5 % Spross/2,3 % Wurzel). Zusätzlich wurden Proben zur Untersuchung der mikrobiellen Zusammensetzung aus dem wurzelnahen (Rhizosphäre) und -fernen Bereich gewonnen. Ergebnisse stehen noch aus.

AP-1b: Design CRISPR/Cas9-Vektor für IRT1 in Tomate (*Solanum lycopersicum*). Erstellung eines Klonierungs-Workflows. Für Vektoren zu anderen Transportern muss lediglich die *guideRNA* entsprechend der Gene ausgetauscht werden.

AP-2b: Etablierung der Kultivierung von *Tobacco* BY-2 Suspensionszellen (*Nicotiana tabacum*). Erhöhung der Expression des IRT1-Transporters durch Induktion eines Eisen-Mangels im Medium. Wenn RN durch diesen Transporter aufgenommen werden, sollte die Aufnahme in Zellen, die unter Eisenentzug kultiviert wurden, höher sein. Vorversuche zu Am-243 Aufnahmeergaben weiteren Optimierungsbedarf. RNA-Isolation aus BY-2 Zellen wurde etabliert.

AP-3b: Beschaffung von *Arabidopsis thaliana* Knock-out-Mutanten für verschiedene Transporter als Modellpflanzen und Kultivierung im hydroponischem System. Induktion eines Eisen-Mangels für Wildtyp- und Kontroll-Pflanzen (analog zum Experiment aus AP-2b) für RN-Aufnahme-Experimente.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP-1a: Entnahme von Bohrkernen aus den Lysimetern – Neubefüllung des havarierten Pu-238-Lysimeter und Beaufschlagung mit Se-75 als Tracer - Analyse der Bodenproben aus dem Pu-238-Lysimeter (α -Spektrometrie) - Säulenversuche mit Se-75 zum des Migrationsverhalten im Boden.

AP-2a: Nach DNA-Extraktion werden die spezifischen Primer mit Barcode für die Amplifikation von bakteriellen und archaealen 16 S rRNA V4-Genen mittels PCR verwendet. Nach Aufreinigung der amplifizierten Produkte mittels „GeneRead Size Selection Kit“ Einsendung der Proben zur Sequenzierung. Die Sequenzierungsergebnisse werden mit Hilfe von QIIME2 analysiert.

AP-3a: Weitere Pflanzenversuche mit Tc-99 bzw. I-125 in Rhizoboxen – sequentielle Extraktion an Proben aus durchwurzelt und nicht durchwurzelt Bereichen zur Klärung der Speziation der RN - Versuche zur Aufnahme von Am-243 in *Arabidopsis thaliana* mit modifizierten Kationen-Transportern in Hydrokulturen.

AP-1b: Beschaffung der Enzyme und Vektoren für die Klonierungsarbeiten. Design der *guideRNAs* für andere Transporter, wie bspw. GLR3.3. Durchführung erster Klonierungsarbeiten.

AP-2b: Etablierung der Zellzahl-Bestimmung mittels OD₆₀₀-Messungen analog zu Bakterienkulturen für quantitative Aussagen. Wiederholung des Eisen-Entzug-Experiments mit Aufnahme von Wachstumskurven und RN-Aufnahme-Experimenten (Am-243) mit definierter Zellzahl. RNA-Isolation und Etablierung von Primern für eine anschließende qualitative Reverse Transkriptase-Polymerase-Kettenreaktion (qRT-PCR). Etablierung der Proteinisolation aus BY-2 Zellen, anschließende Untersuchung der Protein-Mengen mit SDS-Polyacrylamid-Gelelektrophorese (PAGE) und Western Blot mit Immunfärbung.

AP-3b: Wiederholung der Eisen-Mangel-Experimente mit anschließenden RN-Aufnahme-Experimenten. Analoge Untersuchungen auf RNA- und Proteinebene wie für BY-2 Zellen.

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 ¹²⁵I, ⁹⁹Tc, 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 Referenz-böden aus Deutschland experimentell ermittelt. Für das bessere Verständnis des Transferverhaltens von Iod und Technetium innerhalb der Pflanze wurden Erbsen und Karotten mit ortsaufgelösten 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

Konferenzbeitrag auf der ENVIRA-2023, Sevilla, 17.-23. 09.2023: 'Migration of Technetium in German Reference Soils' (Poster)

Konferenzbeitrag auf der ENVIRA-2023, Sevilla, 17.-23. 09.2023: 'Investigation of the transport and transfer behaviour of I-129 using a laboratory lysimeter with reference soil' (Poster)

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9437C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V., Institut für Ressourcenökologie	
Vorhabenbezeichnung: VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse, TP: 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

Die zweite Doktorandenstelle im Teilprojekt C, die die Untersuchung der RN-Speziation und des RN-Transfers in Gegenwart von Wurzelexsudaten sowie die Verifizierung von Aufnahmemechanismen für RN in Pflanzen zum Thema hat, wurde zum 1. September 2023 mit einer Doktorandin besetzt.

AP-1/AP-2:

- Untersuchungen zum Einfluss von Uran (U) und ausgewählten Wurzelexsudaten auf die mikrobielle Diversität im Referenzboden Refesol 01-A wurden durchgeführt. Mit synthetischem Bodenwasser angefeuchtete Refesol 01-A Bodenproben wurden mit U, Äpfelsäure (Vertreter für Wurzelexsudate) oder einem Gemisch aus U und Äpfelsäure über einen Zeitraum von 28 Tagen unter kontrollierten Bedingungen inkubiert. In regelmäßigen Abständen wurden Bodenproben zur geochemischen Charakterisierung (pH, Element-, Anionengehalt) und DNA-Extraktion entnommen. Nach Extraktion der DNA (DNeasy PowerSoil Pro Kit, QIAGEN) wurde diese mittels RISA-Analyse (ribosomal RNA intergenic spacer analysis) und Sequenzierung der V4 Region des 16S rRNA Gens analysiert. Erste Sequenzierungsanalysen zeigen die Häufigkeit der im Kontroll- sowie im U-exponierten Boden vorkommenden bakteriellen Phyla oder Gattungen. Obwohl diese sehr ähnlich sind, konnten leichte Unterschiede festgestellt werden. Das Vorkommen der Gattung *Herbinix* war im Boden nach 28 Tagen U-Exposition stark erhöht (13 % im Vergleich zu 4 % im Kontroll-Boden). Diese Gattung ist als anaerobes, thermophiles Zellulose abbauendes Bakterium bekannt. Weitere DNA-Analysen sind in Vorbereitung. Es wurde mit der Entwicklung einer Methode zur Isolierung und Kultivierung von Mikroorganismen aus dem Boden begonnen.

AP-3:

- Die Komplexbildung von U(VI) mit Äpfelsäure wurde mittels zeitaufgelöster Laserinduzierter Fluoreszenzspektroskopie (TRLFS) unter Kryobedingungen, isothermer Titrationskalorimetrie (ITC) und NMR-Spektroskopie untersucht. Dabei wurden die Stöchiometrien sowie vorläufige Komplexstabilitätskonstanten der gebildeten U(VI)-Malat-Komplexe $((\text{UO}_2)_2(\text{Mal})^{2+})$ und $(\text{UO}_2)_2(\text{Mal})_2$ bestimmt.

AP-3/4:

- Es erfolgte eine Literaturrecherche zur Ausscheidung von Wurzelexsudaten durch Pflanzen, deren Identifizierung und Funktion im Boden, zur Rolle von organischen Säuren für die Aufnahme von Schwermetallen einschließlich RN in Pflanzen sowie zur Wechselwirkung von RN mit organischen Säuren. Der Fokus lag dabei auf *Phaseolus vulgaris* (Buschbohne; Referenz-Nutzpflanze im Projekt) und deren Wechselwirkung mit RN.

AP-5:

- Mit den Projektpartnern der Leibniz Universität Hannover erfolgten Abstimmungen zu den Untersuchungen der RN-Aufnahme in genetisch modifizierte *Nicotiana tabacum* (BY-2) Zellen zur Verifizierung von Transportwegen für RN in Pflanzen. Die für diese Studien notwendige genetische Modifizierung der BY-2 Zellen erfordert zunächst Untersuchungen der RN-Aufnahme in genetisch modifizierte *Arabidopsis thaliana* Pflanzen. *A. thaliana* Samen, die eine

Mutation im GLR Transporter tragen und somit kein funktionsfähiges Protein ausbilden können, wurden vom LUH-IfB für Versuche am HZDR zur Verfügung gestellt.

AP-6:

- Die Etablierung einer Kultivierungsmethode für *P. vulgaris* in Hydrokultur (Hoagland-Lösung) wurde fortgesetzt und das Protokoll zur Anzucht der Pflanzen angepasst. In einem ersten Experiment wurden *P. vulgaris* Pflanzen in Hydrokultur für 72 h mit 2 bzw. 20 μM Eu(III) als Analogon für dreiwertige Actinide (Cm(III), Am(III)) exponiert. Zu verschiedenen Zeitpunkten wurde die Eu(III)-Bioassoziation (ICP-MS-Analysen) und die Eu(III)-Speziation in Lösung spektroskopisch untersucht. Zur Anreicherung der durch die Pflanzen in die hydroponischen Lösungen ausgeschiedenen Wurzelexsudate wird eine Festphasenextraktionsmethode (SPE) erarbeitet.

4. Geplante Weiterarbeit

AP-1:

- Fortführung der Bestimmung des Einflusses von RN und Wurzelexsudaten auf die mikrobielle Diversität im Referenzboden

AP-2:

- Isolierung und Kultivierung ausgewählter Boden-Mikroorganismen

AP-3:

- Abschluss der Arbeiten zur U(VI)-Komplexierung mit Äpfelsäure und Erarbeitung eines Publikationsentwurfs
- Untersuchung der U(VI)- und Eu(III)-Komplexierung mit weiteren Referenzsubstanzen für Wurzelexsudate und Bestimmung fehlender thermodynamischer Daten mittels TRLFS und ITC

AP-5:

- Anzucht von *A. thaliana* Mutanten in hydroponischer Kultur und Durchführung von Bioassoziationsversuchen mit U(VI) im Vergleich zum Wildtyp

AP-6:

- Exposition von *P. vulgaris* Pflanzen mit Eu(III) und U(VI): Bestimmung der Bioassoziation und Translokalisierung der Metalle und deren Speziation in Lösung
- Isolierung und Identifizierung von Wurzelexsudaten aus Hydrokulturen (SPE, HPLC, non-target screening Analyse)

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

Linares Jiménez, R.E., Flemming, K., Matschiavelli, N., Cherkouk, A., Raff, J., Stumpf, T., Sachs, S.: Influence of soil microbiology on radionuclide transport and uptake into plants. Poster, ENVIRA 2023, 7th International Conference on Environmental Radioactivity, Sevilla, Spain, 17.-22.09.2023.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9437D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Öko-Institut e.V.	
Vorhabenbezeichnung: VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse (TRAVARIS), TP: 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 RNAufnahme 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 schwanken-dem 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)

Gemäß Zeitplan fokussierten die Arbeiten auf die Fortsetzung von AP1 und AP3 sowie des AP4.

AP1: Der Austausch mit den Projektpartnern - FSU-AnGeo und LUH-IRS – umfasste Absprachen mit Fokus auf die Lysimeterexperimente mit schwankendem Wasserspiegel, das endgültige Design und den Ablauf. Die Umsetzung kann erst im Laufe des 1. und 2. Quartals 2024 so weit finalisiert werden, dass auch eine modelltechnische Darstellung mit der Parametrisierung in ECOLEGO konkretisiert werden kann.

AP3: Die K_d -Wert-Variabilität wurde im Hinblick auf die Abhängigkeiten von bodenbezogenen Parametern wie pH-Wert, organischer Kohlenstoff, gelöster organischer Kohlenstoff, Mineralphasen, Redoxpotential und oxidierende Bedingungen untersucht und Literaturwerte herangezogen. Mehrere Versionen der Matrix der Parameterabhängigkeiten wurden im ersten Entwurf für ECOLEGO aufgebaut („look-up-table Dependencies“). Eine Implementierung der Schwankungen der Parameterwerte in Form der Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Monte-Carlo-Simulation wird vorbereitet und die Umsetzung geprüft.

AP4: Im Rahmen der Revision der bislang entwickelten Modellversion zum Radionuklid- und Wassertransport durch das Bodenprofil wurde in ECOLEGO ein neues Konzept der Modellteile Wasser- und Radionuklidtransport aufgestellt, wobei die Parametrisierung sowie Anfangs- und Randbedingungen ausgehend aus dem ersten Entwurf des Experimentdesigns mit schwankendem Wasserspiegel (FSU-AnGeo) ausformuliert wurden. Darauf basierend wurde die erste Version des numerischen Schemas (Finite-Volumen-Methode) für die Richards-Gleichung und die Konvektions-Dispersions-Gleichung abgeleitet.

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

AP-übergreifend: Planung des Follow-up-Arbeitsseminars zur neuen Version mit Fa AFRY – erfolgt aufgrund der wenigen angebotenen Termine erst im Jahr 2024.

AP1: Weitere Absprachen zu Lysimeterexperimenten mit schwankendem Wasserspiegel und zu den Umlaufsäulenexperimenten mit FSU-AnGeo und LUH-IRS sowie Austausch mit UB zur Aufstellung der K_d -Matrizen.

AP3: Fortsetzung des Aufbaus der K_d -Matrizen in Form der „look-up-table Dependencies“ sowie der Ermittlung der Variation der Parameterwerte in Form der Wahrscheinlichkeitsverteilungen und die Überführung in den ECOLEGO-Ansatz.

AP4: Prüfung des numerischen Schemas und Rechenläufe für die Modellteile Wasser- und Radionuklidtransport.

AP1: Vorbereitung des Konzeptes zum Modellteil „Pflanze“ in ECOLEGO in Anlehnung an die experimentellen Arbeiten der Projektpartner.

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: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9437E
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Universität Bremen - Institut für Umweltphysik	
Vorhabenbezeichnung: VP: Transfer langlebiger Radionuklide aus der vadosen Zone in die Rhizosphäre und deren Aufnahme in Pflanzen unter Berücksichtigung mikrobiologischer Prozesse, TP: Geochemische Modellierung der in den TPen 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 RNAufnahme 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 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)

Das UNiSeCs-Konzept wurde hinsichtlich einiger Punkte korrigiert (AP-2), beispielsweise wurde die Schätzung der Oberflächenladung, die eine Rolle für die Sorption an Huminsäureoberflächen spielt, aktualisiert. Außerdem wies auf der MIGRATION-**Konferenz** Ende September die leitende Entwicklerin der Thermochemie-Datenbasis auf eine neue Version (v12a) hin, die neue Daten hinsichtlich einiger als Pflanzenexsudate vorkommenden Spezies und Fehlerkorrekturen in der PHREEQC-Version enthält. Daher wurde das korrigierte Modell mit der neuen Datenbasis noch einmal evaluiert (AP-2). Die Ergebnisse für Am, Cs, Se, Pu und U aus der Literatur werden jetzt insgesamt etwas besser abgebildet.

Es wurden die Elemente Eu, Sm und Cm in die UNiSeCs-Sorptionsdatenbasis implementiert (AP-1, AP-2). Für Cm und Eu konnten in der Literatur keine geeigneten Studien zur Validierung gefunden werden, für die chemisch verwandten Elemente Am und Sm dagegen schon. Während das Modell die Am-Daten leicht unterschätzt, werden die Daten für Sm um einen Faktor 2 überschätzt. Dies ist möglicherweise durch einen systematischen Fehler in einer der Studien bedingt, denn auch im Experiment sind die K_D -Werte von Am im Mittel um etwa einen Faktor 2 höher als die von Sm. Außerdem können die entsprechenden Experimente für Am aus dem Vorgängerprojekt Trans-LARA durch UNiSeCs sehr gut nachvollzogen werden. Das Modell sagt nur geringe K_D -Unterschiede für Am und Sm voraus, was die in der Literatur oft geäußerte Hypothese der chemischen Analogie zwischen dreiwertigen Lanthaniden und dreiwertigen Aktiniden bestätigt. Es ist zu erwarten, dass das Modell für Eu bzw. Cm mit Daten aus TRAVARIS zumindest prinzipiell validiert werden kann.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Da für die Unterböden noch keine Charakterisierung vorliegt, werden die entsprechenden Berechnungen (AP-3) zunächst zurückgestellt. Stattdessen soll zunächst herausgefunden werden, wie und in welchem Bereich die Pflanzenwurzel die für die Modellierung relevanten Parameter verändert (AP-4). Danach sollen erste Simulationen durchgeführt werden. Des Weiteren ist geplant, für die Arbeiten im Teilprojekt 4 K_D -Matrizen zu erstellen.

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: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9445A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Friedrich-Schiller-Universität Jena	
Vorhabenbezeichnung: VP: Einfluss der Mykorrhizosphäre von Bäumen auf die Bodenentwicklung und Erosionsverminderung von Uran-Bergbaufolgelandschaften (MykoBEst), TP: Dendroanalyse, Bildung organischer Bodensubstanz, Mykorrhizosphärenprozesse, (kolloidaler) Schwermetall/Radionuklid-Austrag & Drohnenbefliegungen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 993.460,91 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Thorsten Schäfer	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: thorsten.schaefer@uni-jena.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im aktuellen Projektvorhaben werden radionuklid- und schwermetallbelastete (RN/SM) Substrate im Sinne einer Strahlenschutz-Vorsorge zur Produktion von Energiepflanzen genutzt. Ziel ist es, mikrobiell gesteuerte Phytostabilisierungsmaßnahmen mit Mykorrhizapilzen für standortunabhängige Konzepte in MykoBEst weiterzuentwickeln und auf (europäische) Bergbaufolgelandschaften sulfidischen Erzbergbaus unterschiedlicher klimatischer Bedingungen zu übertragen. Die Maßnahmen zielen dabei auf die langfristige Sicherung der Standortsanierung von Bergbaufolgelandschaften ab, die auch den neuen Herausforderungen in Zeiten des Klimawandels gerecht werden muss. Übergeordnete Ziele sind dabei die Erosionsverminderung und die Nutzung von Holz aus bereits in den Projekten USER/USER II (FKZ: 15S9417, 15S9194) etablierten Kurzumtriebsplantagen als Energieträger bzw. als Rohstoff für eine stoffliche Nutzung. Ein neuer Nutzungsaspekt ist der alternative Einsatz der Biomasse als Faserrohstoff für die Zellstoff- und Papiererzeugung, welcher durch den Verbundpartner AFRY untersucht und bzgl. der technischen sowie ökonomischen Umsetzbarkeit bewertet wird. In den belasteten Bodenbereichen soll mit Hilfe eines gesteuerten RN/SM-Transportverhaltens (Austrag bzw. Stabilisierung) ein nachhaltiges System etabliert werden, das für Bergbaufolgefleichen durch die im Wurzelbereich erfolgende Bodenbildung und Bodenstabilisierung sowie eine durch Mykorrhizapilze verbesserte Wasserverfügbarkeit für Wirtsbäume gleichzeitig erosionsmindernd wirkt und damit zu einem langfristigen Erosionsschutz der Haldenabdeckungen führt. Ältere, über den Partner Wismut zur Verfügung gestellte, Standorte sollen mittels eines innovativen Biomonitorings (Nutzung der Elementspeicherung im Holz älterer Bäume) analysiert werden, um den (zeitlich variierenden) klimatischen Stress auf die oberirdische Biomasse zu dokumentieren. Diese Dendroanalyse erlaubt eine zeitlich-räumliche Auflösung der Kontaminationspfade bzw. gibt Informationen der Integrität von Schutzbarrieren.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1 Lysimeterstudien zur Infiltrationsdynamik im Klimawandel
- AP 2 Standortsspezifische Sukzession und Bodenentwicklung
- AP 3 Charakterisierung der oberirdischen Biomasse
- AP 4 Monitoring der Bodenerosion
- AP 5 Übertragbarkeit der Ergebnisse
- AP 6 Weiterqualifizierungsprogramm & Outreach

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

Für die Koordination des Projektes wurde im Dezember 2023 ein Kick-Off-Meeting mit den beteiligten Personen von der FSU Jena, der Wismut GmbH, von AFRY sowie mit dem DBFZ durchgeführt.

- (AP 1) Erste Untersuchungen des Mykorrhizierungsgrads auf den Testflächen Gessenwiese, Kanigsberg, und des neuen Untersuchungsstandorts Halde Beerwalde wurden in Zusammenarbeit mit der Wismut GmbH durchgeführt.
- (AP 2) Rhizosphärenporenwasser wurde mithilfe von Mini-Saugkerzen auf der Gessenwiese und der Halde Beerwalde gewonnen und mit einem LC-OCD-OND-System analysiert. Die Auswertung der C/N-Konzentrationen und DOC-Fraktionen mit besonderem Fokus auf Wurzelexsudate ist erfolgt. Die Mikrobiomanalysen wurden besonders mit Bezug auf Mykorrhizapilze und deren determinierenden Einfluss auf das bakterielle Mikrobiom durchgeführt.
- (AP 3) In Baumringe von den Ernten auf der Gessenwiese wurden mittels LA-ICP-MS die Schwermetall-/Radionuklid-Konzentration und -Verteilung untersucht. Fluoreszenzmessungen zur Bestimmung der Photosyntheseleistung wurden auf der Gessenwiese, dem Kanigsberg und der Halde Beerwalde durchgeführt. Mykorrhizabestimmung erfolgte auf den Testflächen der Gessenwiese und des Kanigsbergs.
- (AP 4) Eine hydrogeochemische Stichtagsbeprobung zum Monitoring von physikochemischen Parametern, Elementkonzentrationen, DOC-Konzentrationen und kolloidalen Phasen wurde im Grundwasser von den Testflächen Gessenwiese und Kanigsberg durchgeführt. Von der Wismut GmbH wurde Sickerwasser von der Halde Beerwalde für die Analysen bereitgestellt.
- (AP 6) Am 05. und 06. Oktober 2023 fand das 21. Jenaer Sanierungskolloquium statt, welches jedes Jahr von den AGs Angewandte Geologie und Mikrobiologische Kommunikation organisiert wird.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- (AP 1) Regelmäßige Probenahmen von Sickerwasser aus den Lysimetern auf der Gessenwiese und den Lysimetern auf der Halde Beerwalde in Zusammenarbeit mit der Wismut GmbH werden durchgeführt und hydrogeochemisch/mikrobiologisch untersucht. Der Einfluss der Mykorrhizierung auf die Wasserverfügbarkeit wird in Laborexperimenten durchgeführt.
- (AP 2) Probenahme und Bestimmung der organischen Bodensubstanz (C/N/P-Akkumulation) auf der Gessenwiese und exemplarisch auf der Halde Beerwalde im Rahmen einer Masterarbeit sind geplant. Weiterhin wird eine erneute Probenahme in der Rhizosphäre mit anschließender detaillierter Auswertung (LMW Neutrals, Stickstoffverbindungen) und Identifizierung der Verbindungen mittels Orbitrap-ICP-MS durchgeführt. Bodenatmung, mikrobielle Biomasse und Mykorrhizierung in Haldensubstraten wird in Bezug auf das Alter der Vegetation quantifiziert und zeitlich aufgelöst analysiert. Die Rolle freilebender und symbiotischer Stickstofffixierer konnten abgeschlossen werden.
- (AP 3) Erste Probenahme von Baumbohrkernen auf der Halde Beerwalde und Messung der RN/SM-Verteilung mittels LA-ICP-MS sind geplant.
- (AP 4) Regelmäßiges (monatliches/saisonales) hydrogeochemisches Monitoring von Grund- und Porenwasser auf der Gessenwiese und dem Kanigsberg. Quarzsand und Bodensubstrat wird mit Modellpilzen im Labor auf den Einfluss der Vernetzung von Bodenporen und Bodenpartikel untersucht und spezifisch angepasste Bakterien gesucht sowie der Transport von RN/SM mit den wachsenden Hyphen im Boden nachgewiesen.

- (AP 5) Mitbetreuung (zusammen mit AFRY, DBFZ) einer Abschlussarbeit über mögliche Nachnutzungsstrategien, Bereitstellung bereits erhobener relevanter Daten (Biomasse, RN/SM-Gehalte).
- (AP 6) Teilnahme/Präsentation der Ergebnisse auf nationalen Konferenzen. Weiterqualifizierung der Promovierenden und Postdoc.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Das Projekt basiert auf durch das BMBF geförderten, abgeschlossenen Projekten USER/USER II (FKZ: 15S9417, 15S9194).

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Bogdanova O, Kothe E, Krause K (2023) Ectomycorrhizal community shifts at a former uranium mining site. *J Fungi* 9, 483.
- Chen X (2023) Charakterisierung der stickstofffixierenden Bakterien auf den Flächen eines ehemaligen Uranbergbaugebiets. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Costa FS (2023) Biomineralization capabilities of *Streptomyces mirabilis* P16B-1: Insights into struvite and nickel-struvite synthesis and their implications. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Ezediokpu MN, Halitschke R, Krause K, Boland W, Kothe E (2023) Pre-symbiotic response of the compatible host spruce and low-compatibility host pine to the ectomycorrhizal fungus *Tricholoma vaccinum*. *Front Microbiol* 14, 1280485.
- Fürst D (2023) Einfluss mikrobiologischer Behandlungen auf das Phytoremediationspotential verschiedener Baumarten auf metallbelasteten Böden eines ehemaligen Bergbaustandortes. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Gabert V (2023): Methodischer Vergleich zur Pflanzenaufbereitung von Getreide/Holz zur Ermittlung möglicher Verunreinigungen im Arbeitsprozess für Spurenelementanalyse. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena. Betreuung: Dr. D. Merten und Dr. P. Gros
- Gloger A (2023) Bioinformatic examination of viruses associated with *Streptomyces* bacteria. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Goeppel AM (2023): Dendroanalyse verschiedener Baumarten im ehemaligen Uranerzbergbau in Ronneburg (Thüringen). Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Harpke M (2023). Microbial adaptation and community dynamics in a former uranium mining and milling site. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Harpke M, Kothe E (2023) Biofilm formation in Gram-positives as an answer to combined salt and metal stress. *J Basic Microbiol* 63, 888-896.
- Nettemann S, Mirgorodsky D, Kothe E, Schäfer T (2023): Event-driven mobilization of dissolved and colloid-associated heavy metals and radionuclides in AMD-influenced shallow groundwaters in a former Uranium mining area in Germany. Goldschmidt Conference, July 9 – 14, 2023, Lyon (France), Abstract No. 16419.
- Nettemann S, Mirgorodsky D, Kothe E, Schäfer T (2023): Event-driven mobilization of dissolved and colloid-associated trace elements in AMD-influenced groundwaters. 21st Symposium on Remediation. October 5 – 6, 2023, Jena (Germany).
- Östreicher M (2023) Metal stress response of the ectomycorrhizal basidiomycete *Tricholoma vaccinum*. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9445B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Wismut GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Einfluss der Mykorrhizosphäre von Bäumen auf die Bodenentwicklung und Erosionsverminderung von Uran-Bergbaufolgelandschaften (MykoBEst), TP: Entwicklung von Verfahren zur gezielten Vitalisierung des Wismut-Sanierungswaldes mittels Bodenmikroorganismen und Prüfung minimalinvasiver Biomonitoring-Methoden	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 44.976,87 €
Projektleiter/-in: Dipl. Ing. agr. Mirko Köhler	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: m.koehler@wismut.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im aktuellen Projektvorhaben werden radionuklid- und schwermetallbelastete (RN/SM) Substrate im Sinne einer Strahlenschutz-Vorsorge zur Produktion von Energiepflanzen genutzt. Ziel ist es, mikrobiell gesteuerte Phytostabilisierungsmaßnahmen mit Mykorrhizapilzen für standortunabhängige Konzepte in MykoBEst weiterzuentwickeln und auf (europäische) Bergbaufolgelandschaften sulfidischen Erzbergbaus unterschiedlicher klimatischer Bedingungen zu übertragen. Die Maßnahmen zielen dabei auf die langfristige Sicherung der Standortsanierung von Bergbaufolgelandschaften ab, die auch den neuen Herausforderungen in Zeiten des Klimawandels gerecht werden muss. Übergeordnete Ziele sind dabei die Erosionsverminderung und die Nutzung von Holz aus bereits in den Projekten USER/USER II (FKZ: 15S9417, 15S9194) etablierten Kurzumtriebsplantagen als Energieträger. Ein neuer Aspekt ist die Alternative als Standort zur Zellstoffproduktion, welche über den Verbundpartner AFRY bzgl. der Machbarkeit abgeschätzt wird. Es soll besonders bei RN/SM-Austrag ein nachhaltiges System etabliert werden, das für Bergbaufolgeflächen durch die im Wurzelbereich erfolgende Bodenbildung und Bodenstabilisierung sowie eine durch Mykorrhizapilze verbesserte Wasserverfügbarkeit für Wirtschaftsbäume gleichzeitig erosionsmindernd wirkt und damit zu einem langfristigen Erosionsschutz der Haldenabdeckungen führt. Ältere über den Partner Wismut zur Verfügung gestellte Standorte sollen durch ein innovatives Biomonitoring (Nutzung der Elementspeicherung im Holz ältere Bäume) genutzt werden, um den klimatischen Stress auf die oberirdische Biomasse zu dokumentieren. Diese Dendroanalyse erlaubt eine zeitlich-räumliche Auflösung der Kontaminationspfade bzw. gibt Informationen der Integrität von Schutzbarrieren.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1 Lysimeterstudien zur Infiltrationsdynamik im Klimawandel
- AP 2 Standortspezifische Sukzession und Bodenentwicklung
- AP 3 Charakterisierung der oberirdischen Biomasse
- AP 4 Monitoring der Bodenerosion
- AP 5 Übertragbarkeit der Ergebnisse
- AP 6 Weiterqualifizierungsprogramm & Outreach

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

Für die Koordination des Projektes wurde im Dezember 2023 ein Kick-Off-Meeting mit den beteiligten Personen von der FSU Jena, der Wismut GmbH, von AFRY sowie mit dem DBFZ durchgeführt.

- (AP 1) Die Wismut GmbH hat erste Daten zur Entwicklung der Bodentemperatur, der Bodenfeuchte, der Hydrochemie und Menge der Sickerwässer sowie erläuternde Dokumente zum Systemverständnis der Lysimeteranlagen auf der Halde Beerwalde an die FSU Jena zur Auswertung übergeben.
- (AP 2) Zur standortspezifischen Vegetation und Bodenentwicklung auf der Halde Beerwalde wurde die aktuelle Berichterstattung an die FSU Jena übergeben.
- (AP 3) Die Wismut GmbH gab eine fachspezifische Einweisung zu den bestehenden Lysimeterversuchsflächen im Rahmen des studentischen Praktikums im September 2023 und ermöglichte die Beprobung der oberirdischen Biomasse im Umfeld der Lysimeteranlagen.
- (AP 4) Von der Wismut GmbH wurde die Probenahme von Sickerwasser auf der Halde Beerwalde für die Analysen durchgeführt und diese bereitgestellt.
- (AP 6) Am 05. und 06. Oktober 2023 fand das 21. Jenaer Sanierungskolloquium statt, welches jedes Jahr von den AGs Angewandte Geologie und Mikrobiologische Kommunikation organisiert wird. In diesem Rahmen wurden von der Wismut GmbH prognostizierte Effekte des Klimawandels anhand eigener Untersuchungen am Standort Ronneburg vorgestellt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- (AP 1) Die Entwicklung der Sickerwassermengen der Lysimeter sowie deren Hydrochemie sollen unter Berücksichtigung der derzeitigen meteorologischen Bedingungen analysiert werden. Außerdem ist geplant, die langfristig projizierten meteorologischen Randbedingungen für den Standort Ronneburg in Zusammenarbeit mit der FSU Jena statistisch auszuwerten.
- (AP 2) Probenahme und Bestimmung der organischen Bodensubstanz (C/N/P-Akkumulation) auf der Gessenwiese und exemplarisch auf der Halde Beerwalde im Rahmen einer Masterarbeit sind geplant. Weiterhin wird eine erneute Probenahme in der Rhizosphäre mit anschließender detaillierter Auswertung (LMW Neutrals, Stickstoffverbindungen) und Identifizierung der Verbindungen mittels Orbitrap-ICP-MS durchgeführt.
- (AP 3) Im 1. Quartal werden vorhandene Biomonitoringergebnisse aufgearbeitet und den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Ab dem 2. Quartal 2024 sind Vegetationsaufnahmen auf dem Untersuchungsobjekt Halde Beerwalde in Zusammenarbeit mit der FSU Jena geplant.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9445C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: AFRY Deutschland GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Einfluss der Mykorrhizosphäre von Bäumen auf die Bodenentwicklung und Erosionsverminderung von Uran-Bergbaufolgelandschaften (MykoBEst), TP: Wirtschaftliche Begleitung und Bewertung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 53.611,19 €
Projektleiter/-in: Dr. Timo Kuntzsch	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: timo.kuntzsch@afry.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im aktuellen Projektvorhaben werden radionuklid- und schwermetallbelastete (RN/SM) Substrate im Sinne einer Strahlenschutz-Vorsorge zur Produktion von Energiepflanzen genutzt. Ziel ist es, mikrobiell gesteuerte Phytostabilisierungsmaßnahmen mit Mykorrhizapilzen für standortunabhängige Konzepte in MykoBEst weiterzuentwickeln und auf (europäische) Bergbaufolgelandschaften sulfidischen Erzbergbaus unterschiedlicher klimatischer Bedingungen zu übertragen. Die Maßnahmen zielen dabei auf die langfristige Sicherung der Standortsanierung von Bergbaufolgelandschaften ab, die auch den neuen Herausforderungen in Zeiten des Klimawandels gerecht werden muss. Übergeordnete Ziele sind dabei die Erosionsverminderung und die Nutzung von Holz aus bereits in den Projekten USER/USER II (FKZ: 15S9417, 15S9194) etablierten Kurzumtriebsplantagen als Energieträger bzw. als Rohstoff für eine stoffliche Nutzung. Ein neuer Nutzungsaspekt ist der alternative Einsatz der Biomasse als Faserrohstoff für die Zellstoff- und Papiererzeugung, welcher durch den Verbundpartner AFRY untersucht und bzgl. der technischen sowie ökonomischen Umsetzbarkeit bewertet wird. In den belasteten Bodenbereichen soll mit Hilfe eines gesteuerten RN/SM-Transportverhaltens (Austrag bzw. Stabilisierung) ein nachhaltiges System etabliert werden, das für Bergbaufolgefleichen durch die im Wurzelbereich erfolgende Bodenbildung und Bodenstabilisierung sowie eine durch Mykorrhizapilze verbesserte Wasserverfügbarkeit für Wirtsbäume gleichzeitig erosionsmindernd wirkt und damit zu einem langfristigen Erosionsschutz der Haldenabdeckungen führt. Ältere, über den Partner Wismut zur Verfügung gestellte, Standorte sollen mittels eines innovativen Biomonitorings (Nutzung der Elementspeicherung im Holz ältere Bäume) analysiert werden, um den (zeitlich variierenden) klimatischen Stress auf die oberirdische Biomasse zu dokumentieren. Diese Dendroanalyse erlaubt eine zeitlich-räumliche Auflösung der Kontaminationspfade bzw. gibt Informationen der Integrität von Schutzbarrieren.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1 Lysimeterstudien zur Infiltrationsdynamik im Klimawandel
- AP 2 Standortspezifische Sukzession und Bodenentwicklung
- AP 3 Charakterisierung der oberirdischen Biomasse
- AP 4 Monitoring der Bodenerosion
- AP 5 Übertragbarkeit der Ergebnisse
- AP 6 Weiterqualifizierungsprogramm & Outreach

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

Im Berichtszeitraum wurde das Kick-Off-Meeting mit den beteiligten Projektpartnern durchgeführt. Es wurden der Sachstand zu den inhaltlichen Themen durchgesprochen, die Zusammenarbeit der Projektpartner in den einzelnen Arbeitspaketen abgestimmt und Details für die Umsetzung der nächsten Schritte festgelegt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Es ist geplant, mit der Erarbeitung und Bewertung von Nutzungspfaden für die stoffliche Verwertung von Biomasse aus den Bergbaufolgegebieten zu beginnen, wobei der Schwerpunkt auf der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit eines Einsatzes in der Zellstoff- und Papierindustrie liegt.

In diesem Zusammenhang ist auch die Teil-Betreuung einer an der FSU Jena angesiedelten Masterarbeit aus dem Bereich Umwelt- und Georessourcenmanagement vorgesehen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

/

6. Berichte und Veröffentlichungen

/

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9426A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Ruhr-Universität Bochum – Fakultät für Psychologie	
Vorhabenbezeichnung: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken (Rückbaukompetenzen)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2020 bis 31.03.2024	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 zunächst an einer Lösung für die zuvor aufgetretenen technischen Probleme der Netzwerkkommunikation zwischen den Trainingsgeräten (Virtual Reality Headsets & Tablets) gearbeitet (bis KW32). Nach erfolgreicher Lösung fand ein virtueller Belastungstest der Netzwerkkommunikation statt (KW 32/ 09.08.23; AP 8&9). Ein weiterer Trainingstest vor Ort wurde am 07.09.23 (KW36; AP 8&9) durchgeführt.

Zusätzlich wurde die Trainingsdokumentation, inkl. der Dokumentation der Tablet- & VR-Anwendungen fertiggestellt und an den Verwertungspartner (GfS) übergeben und die Veröffentlichung der Ergebnisse vorbereitet (AP11). Außerdem wurde die Durchführung weiterer Pilotkurse im Januar und März 2024 geplant (AP 8&9).

Darüber hinaus fand im Berichtszeitraum ein Treffen mit der GfS und einem weiteren potenziellem Evaluationspartner (KW 33/ 16.08.23; AP 8&9) sowie ein weiteres online Meeting zwischen RUB und GfS (KW 35/ 08.09) statt.

Frau Kinkel und Frau Thomaschewski haben in KW 35 (29.08.23) am DoktorandInnen Treffen in Dresden teilgenommen (AP11). In KW 42 (20.10.23) wurde das Projekt auf dem Tag der offenen Tür der RUB vorgestellt (AP11).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Januar und März 2024 werden weitere Pilotkurse durchgeführt. Auf den dadurch gewonnenen Daten kann die summative Evaluation des Trainings durchgeführt und in einem Open Access Journal veröffentlicht werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2023 bis 31.12.2023	Förderkennzeichen: 15S9426B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Gesellschaft für Simulatorschulung mbH	
Vorhabenbezeichnung: Die Kompetenzen von Führungskräften und Mitarbeiter/innen für den Rückbau stärken	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2020 bis 31.03.2024	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 der entwickelten seminar-basierten Trainingsmaßnahmen für die Mitarbeiter/innen der PEL, ergänzt durch multimodale Mixed Reality Anwendungen inkl. der Microlearning-Module zur Transfersicherung.

AP 9: Pilotdurchführung der seminar-basierten Trainingsmaßnahmen für die Führungskräfte der PEL, ergänzt durch multimodale Mixed Reality Anwendungen inkl. der Microlearning-Module zur Transfersicherung.

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 wurde durchgeführt.

AP 8 ist in der Durchführung.

AP 9 AP 11 werden vom 11.03.-12.03. (Pilottraining) KW11-KW13 Evaluation und Verbreitung (von Koalitionspartner RUB) durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Weiterarbeit orientiert sich an oben dargelegtem Arbeitsprogramm. Im kommenden Berichtszeitraum Q1 2024, werden AP8, AP9 und AP10 weitergeführt.

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.

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

Schwertnergasse 1
50667 Köln

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Forschungszentrum
85748 Garching b. München

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200
10719 Berlin

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4
38122 Braunschweig

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

www.grs.de