

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum

1. Juli - 31. Dezember 2024

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**



Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
1. Juli - 31. Dezember 2024

Vom Bundesministerium
für Bildung und Forschung
geförderte Vorhaben

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

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.

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
01.	Zerlege- und Dekontaminationsverfahren	
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	7
15S9434B	VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA), TP: Analytik für die Beprobung von Beton	12
15S9434C	Gesamtvorhaben: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA), TP: Elektronische Ergebnisdokumentation, Beprobungsplanung und Wissensmanagement	14
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	18
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	21
15S9439A	VP: Autonome robotergestützte Reinigung und Vormessung (ARRIVE), TP: Prototypbau einer autonomen Anlage zur Dekontamination und radiologischen Messung	24
15S9439B	VP: Autonome robotergestützte Reinigung und Vormessung (ARRIVE), TP: Autonome Laserablation und radiologische Vormessung	28
15S9440A	VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont-2), TP: Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster	34
15S9440B	VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont-2), TP: Durchführung experimenteller Versuche und Auswertung der Versuchsmuster	37
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	40
15S9440D	VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont-2), TP: Praxisversuche und Verifizierung	43
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	47
15S9444B	VP: Entwicklung eines Beprobungssystems inklusive qualitätsgesichertem Beprobungsverfahren für nicht zugängliche Bereich (BERO), TP: Konstruktion und Herstellung eines innovativen Trägersystems inkl. Beprobungs- und Ausbaukopf für Rohrleitungen in nicht zugänglichen Bereichen	50
15S9449A	VP: Automatisierte Vorschubregelung bei der Elektrokontaktbearbeitung unter Wasser durch Auswertung und Nutzung der Lichtbogenparameter mittels KI-Methoden (AutArc), TP: Prozessautomatisierung	57
15S9449B	Automatisierte Vorschubregelung bei der Elektrokontaktbearbeitung unter Wasser durch Auswertung und Nutzung der Lichtbogenparameter mittels KI-Methoden (AutArc), TP: Prozessoptimierung	60

		Seite
15S9449C	VP: Automatisierte Vorschubregelung bei der Elektrokontaktbearbeitung unter Wasser durch Auswertung und Nutzung der Lichtbogenparameter mittels KI-Methoden (AutArc), TP: Inverterstromquelle	63
15S9450A	Emissionsvermeidung durch Laser-Ablation beim Einsatz im nuklearen Rückbau (Emilia), TP: Entwicklung eine Laserablationsprozesses zur effektiven Zerstörung von Oberflächenschichten	65
15S9450B	VP: Emissionsvermeidung durch Laser-Ablation beim Einsatz im nuklearen Rückbau (Emilia), TP: Entwicklung eines Demonstrators zur Laserablation	67
02.	Freigabeverfahren und konventionelle Entsorgungswege	
15S9447A	VP: Experimentell gestützte Berechnungen von Neutronenfeldern und den daraus resultierenden Aktivitäten in reaktorfernen Räumen (EBENE), TP: Berechnungen Aktivitätsverteilung in reaktorfernen Räumen auf Basis von der Neutronenfluss- rechnungen und Experimenten	69
15S9447B	VP: Experimentell gestützte Berechnungen von Neutronenfeldern und den daraus resultierenden Aktivitäten in reaktorfernen Räumen (EBENE), TP: Experimentelle Aktivierung und Benchmarkexperimente zur Validierung von Aktivierungsberechnungen und Untersuchung zur Aktivierbarkeit von Kernkraftwerksstrukturen	72
15S9447C	VP: Experimentell gestützte Berechnungen von Neutronenfeldern und den daraus resultierenden Aktivitäten in reaktorfernen Räumen (EBENE), TP: Probenahme und Bewertung	75
03.	Behandlung radioaktiver Abfälle	
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	77
15S9433B	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 des Verfahrens zur totzeitarmen C-14 Bestimmung mittels Flüssigszintillation und Untersuchungen zur Freimessung von C-14-Rückständen n. elektrochemischer Behandlung	79
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	81
15S9441	Konditionierung von mittelaktiven (ILW) Ionentauscherabfällen aus der Chemischen System Dekontamination (SRT Ionentauscherabfälle)	83
15S9442	Charakterisierung und Dekontamination von i-Grafiten (i-GraDe)	86
04	Abfalldeklaration und Zwischenlagerung	
15S9436A	VP: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (DABKO), TP: Koordination und Erstellung der BIM Modelle	89
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	91

		Seite
15S9436C	VP Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (DABKO), TP: Datenbank	94
15S9443	Aus- und Weiterbildung sowie Kompetenzerhalt im Bereich der zerstörungsfreien Analyse von radioaktiven Stoffen und Abfallprodukten aus Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen (EducTUM)	96
15S9446A	VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebinden (ZIKA), TP Konzeption, Bau des Demonstrators und Durchführung von Test- und Praxisphase	99
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	102
15S9446C	VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebinden (ZIKA), TP: Planung und Projektberatung, sowie Vernetzung mit Experten aus dem Bereich der Kerntechnik	105
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	108
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	111
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	115
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	118
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	121
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	123
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	127
15S9445C	VP: Einfluss der Mykorrhizosphäre von Bäumen auf die Bodenentwicklung und Erosionsverminderung von Uran-Bergbaufolgelandschaften (MykoBEst), TP: Wirtschaftliche Begleitung und Bewertung	130

		Seite
06.	Mensch und Organisation	
15S9448A	VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.), TP: Innovation in der Kerntechnik: Stärkung der nuklearen Sicherheit durch digitalisierte und bildungsorientierte Ansätze	132
15S9448B	VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.), TP: Digitale Plattformen zum Lernen, Genehmigungsverfahren, Strahlenschutz und K1-gestützter Prozessführung im behördlichen Umfeld	135
15S9448C	VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.), TP: Digitale Plattform ink1. K1-gestützter Prozessführung und Schulungsinhalte für sicherheitssensitive Genehmigungsverfahren	137
15S9448D	VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.), TP: Safeguards sowie Partitioning	142
15S9448E	VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.), TP: Kapazitätsaufbau durch virtuell erweitertes Training und Entwicklung einer Wissensgemeinschaft	144
15S9448F	VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.), TP: Modernste Lernkonzepte und Didaktiken für nachhaltigen Kompetenzerhalt und Aufbau mit dem Competence.hub	148
15S9448G	VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.), TP: Digitale Transformation im Strahlenschutz: Effizienzsteigerung durch int. Softwarelösungen	151

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9434A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden, 01062 Dresden		
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kern-technischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA), TP: Entwicklung von Werkzeugen zur In-Situ-Analyse von Betoneigenschaften, Radionukli- den und hydraulischer Loch-zu-Loch-Permeabilität sowie Befundkartierung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2021 bis 31.05.2025		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 tiefen aufgelösten 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: Im vorangegangenen Projektzeitraum wurden seitens TUD-PBM die experimentellen Arbeiten zur elektrischen Impedanzspektroskopie zum Nachweis und zur Quantifizierung von Feuchtigkeit in Betonproben weiter vorangetrieben. Begleitet und validiert wurden die experimentellen Arbeiten mit Simulationsergebnissen, die mit COMSOL®-Multiphysics generiert wurden. Die Qualität und Vergleichbarkeit wurden durch den Einsatz von kommerziellen Federelektroden erreicht, die der endgültigen Elektrodenanordnung für das Lanzendesign nahekommen. Aufgrund der Komplexität der Federelektrodengeometrie und der Notwendigkeit einer Systemvalidierung wurde die Messung für verschiedene Materialien mit bekannten Leitfähigkeiten und Permittivität (z. B. Luft, deionisiertes Wasser, Leitungswasser, Papier, Kunststoff, trockener und feuchter Beton) durchgeführt, um die Kalibrierungsgenauigkeit zu gewährleisten. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde das neue, innovative Design des Lanzenkopfes in 3D CAD (Autodesk Inventor) fertiggestellt und als Prototyp vollständig aufgebaut. Herzstück ist ein in sich bewegliches 3D-Druckteil. Es werden drei Federn als Elektroden verwendet. Diese werden in radialen Einstichen so angeordnet, dass sie alle gemeinsam mittels einer mechanischen Spreizvorrichtung gegen die Lochinnenwand gedrückt werden können. Das neue Design verfügt somit über ausfahrbare, umlaufende Federkontakte, die sich ideal an die raue Betonoberfläche anschmiegen und Durchmesservariationen überbrücken, ohne dabei die Elektrodenkontaktfläche oder den Elektrodenabstand zu verändern. Während der axialen Bewegung der Lanze im Bohrloch werden die Elektroden automatisch eingezogen, um eine Abrasion der Elektroden zu vermeiden.

Für die Anwendung der hochfrequenten Radartechnologie wurden in Zusammenarbeit mit unserem Forschungspartner am Karlsruher Institut für Technologie parametrische Hochfrequenz-2D-Simulationen mit COMSOL®-Multiphysics durchgeführt, analysiert und ausgewertet, um die Anwendbarkeit der Radartechnik mit einem Koaxialwellenleiter zu untersuchen.

Die von TUD-IKTP erhobenen Daten wurden weiter analysiert und die Auswertung abgeschlossen. Ein Vergleich der Aktivitäten aus der Sondenmessung vor Ort im Kernkraftwerk Unterweser mit den von PreussenElektra durchgeführten Bohrkernanalysen hat eine Übereinstimmung ergeben. Die bestimmte Aktivitätskonzentration ist in der Größenordnung des Freigabewertes, womit eine hochempfindliche Feldmessung im Kernkraftwerk gelungen ist und nachgewiesen wurde.

AP 2: Im Berichtszeitraum wurden die Untersuchungen zur laserbasierten Ablation des Betons weitergeführt. Ziel war es, die Menge des ablatierten Betons zu steigern, um ausreichend Material für die nachfolgende Analyse bereitzustellen. Durch die Variation konnte der Zusammenhang zwischen den Laserprozessparametern, der Art der Zuschlagstoffe, der Betonstruktur und der ablatierten Menge des Betons weiter vertieft werden. Es wurde ebenfalls der Zusammenhang zwischen Laserprozessparametern und der Größe der ablatierten Partikel herausgearbeitet. Dies ist von Bedeutung, da derzeit nur ein Teil des ablatierten Materials (das mit vergleichsweise geringen Partikelgrößen) aus den Bohrlöchern ausgetragen werden kann.

Weiterhin wurden Ablationsexperimente mit dem Prototyp eines Sondenkopfes durchgeführt. Im Ergebnis wird die Konstruktion hinsichtlich ihrer thermischen Auslegung und der Beständigkeit in der Partikelströmung weiter optimiert.

Die in-situ Analyse des mittels Laserstrahlung ablatierten Betons per Massenspektroskopie führte zu unzureichenden Ergebnissen. Als Ursache dafür wird angenommen, dass ein Aerosol erzeugt wird, welches nicht massenspektrometrisch analysiert werden kann.

Ein vorhandenes Spektrometer wurde für den Aufbau eines Setups zur Laserinduzierten Break-down Spektroskopie (LIBS) genutzt, um Testmessungen, zunächst an Al_2O_3 , durchzuführen. Die Genauigkeit der Analyse liegt aktuell noch hinter den Erwartungen. Die Ursachen konnten bisher nicht vollständig geklärt werden. Es zeichnet sich jedoch ab, dass die Auflösung des Spektrometers nicht ausreicht, um die erforderliche Analysegenauigkeit zu erreichen.

AP 3: Die experimentelle Untersuchung des Radionuklidtransports durch Betonzyylinder mit Fugen ist abgeschlossen. Alle drei Transportmechanismen – Permeabilität, Sorption und Diffusion – wurden berücksichtigt. Es wurden Pulverproben entnommen, um die Eindringtiefen der Radionuklide zu bestimmen. Die Proben werden derzeit gesichert gelagert und demnächst zur Konzentrationsbestimmung an ein chemisches Labor geschickt. Zur Validierung der experimentellen Ergebnisse wurden COMSOL-Modelle für die drei Transportmechanismen entwickelt. Anhand der experimentellen Ergebnisse werden die Modelle validiert. Analysen und Tests an den Bohrkernproben, die von PreussenElektra aus einem weiteren Kernkraftwerk zur Verfügung gestellt wurden, laufen noch.

AP 4: Im Berichtszeitraum wurde die Visualisierungsanwendung um zusätzliche Exportoptionen erweitert. Dies umfasst die Möglichkeit, gezielt PDF-Reports für bestimmte Radionuklide zu erstellen und ausgewählte Proben zu exportieren. Die von Dornier Nuclear Services GmbH bereitgestellten Probandaten und Lokalisationsinformationen wurden durch neue Datensätze ergänzt und um zusätzliche, präzisere Lokalisationspunkte erweitert. Darüber hinaus wurde die Visualisierung der Daten optimiert und der zugrundeliegende CAD-Datensatz überarbeitet, um eine noch genauere und benutzerfreundlichere Darstellung zu gewährleisten.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammunkten)

AP 1: Es sind weitere COMSOL-Multiphysics Simulationen zur Hochfrequenz-Radarmessung an einem 3D-Modell sowohl mit Sonden auf Basis von Koaxialkabeln als auch mit Antennengruppen geplant. Bei Erfolg sollen die 3D-Simulationsergebnisse des Koaxialkabels und der Antennengruppe dann mittels Radartechnik in Bohrlochphantomen im Labor experimentell validiert wer-

den. Dazu ist eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik am KIT geplant. Für die Analysen und Modellvalidierungen werden wieder verschiedene Feuchtigkeitsgrade an diversen Betonproben eingestellt und getestet. Parallel dazu werden Echtzeitmessungen mit der neuen entwickelten EIS-Sonde durchgeführt.

Bei TUD-IKTP sind die Forschungsarbeiten abgeschlossen.

AP 2: Die bereits begonnene Simulation des Materialaustrages aus dem Bohrloch wird weitergeführt. Dazu werden vom Partner TUD-IfB bereitgestellte Beton-Materialdaten verwendet, die aus Bohrkernproben des Kernkraftwerks Unterweser ermittelt wurden. Parallel erfolgt die Optimierung der Konstruktion des Sondenkopfes, um ihn für Ablationsversuche an realen Betonstrukturen nutzen zu können. Nach den bisherigen Ergebnissen ist die Analyse des abgetragenen Betons durch LIBS zielführend und wird zur In-situ-Analyse weiterverfolgt. Dazu ist u.a. die Simulation von LIBS-Spektren vorgesehen.

AP 3: Sobald die experimentellen Ergebnisse der Tiefenprofile der Ionenkonzentrationen vorliegen, kann das kombinierte Kontaminationsmodell (bestehend aus Permeabilitäts-, Sorptions- und Diffusionsmodellen) verwendet werden, um das Ausmaß der Kontamination im Kernkraftwerk zu modellieren und zu simulieren. Die Ergebnisse der Bohrkernanalyse werden zur Kalibrierung des Modells herangezogen.

AP 4: In der nächsten Phase wird die Visualisierungsanwendung um weitere Exportfunktionen ergänzt, insbesondere durch die Unterstützung von maschinenlesbaren Formaten wie JSON und CSV. Zusätzlich werden erweiterte Filtermöglichkeiten implementiert, die eine gezielte Erstellung von Berichten nach spezifischen Kriterien ermöglichen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der kontinuierlichen Erweiterung der Datenbasis durch zusätzliche Probandaten und Lokalisationsinformationen, die erneut von der Doktorandin des assoziierten Partners Dornier Nuclear Services GmbH bereitgestellt werden, um die Funktionalität und den Darstellungsgehalt des Systems weiter zu verbessern.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Nurjahan T.; de Assis Dias, F.; Schleicher, E.; Hampel, U., Measurement of moisture content in the reactor building during decommissioning of nuclear power plants, Invited talk, Technische Universität Chemnitz, Germany, 04.12.2024.

Nurjahan T.; de Assis Dias, F.; Schleicher, E.; Hampel, U., In-situ moisture measuring in concrete structures of containment building during decommissioning of nuclear power plants, Jaderné DNY 2024, Best poster award (3rd place), University of West Bohemia, Czech Republic 12.-13.09.2024.

Nurjahan T.; de Assis Dias, F.; Schleicher, E.; Hampel, U., Breaking the wall of nuclear waste management, Falling Walls Lab 2024, Best presentation award (3rd place), University of Wroclaw, Poland, 14.09.2024.

Rauf, A.; Köberle, T.; Schröfl, C.; Butler, M.; Mechtcherine, V., Multi-method characterization of 50-year-old mass concrete from the nuclear power plant Unterweser in Germany: A forensic approach, Case Studies in Construction Materials, 21 (2024) e03770, DOI 10.1016/j.cscm.2024.e03770

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9434B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., D-01328 Dresden		
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kern- technischer Anlagen während des Rückbaus, TP: Analytik für die Beprobung von Beton		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2021 – 31.05.2025		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 Probennahmesystem 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 Arbeitsprogrammpunkten)

Die durchgeführten Analysen des Probenmaterials zeigen, weiterhin zu hohe Nachweisgrenzen in Bezug auf die künstlichen sowie natürlichen Radionuklide. Die Ursache hierfür lässt sich auf die zu geringen abgeschiedenen Probenmassen zurückführen.

Weiter in Diskussion ist die Herstellung weiterer, gezielt kontaminierter Probekörper für die Kalibration von Messgeräten. Diese Arbeiten umfassen das Herstellen sowie die nachfolgende Analyse der Probenkörper.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine bekannt

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: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9434C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: PreussenElektra GmbH		
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kern-technischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA), TP: Elektronische Ergebnisdokumentation, Beprobungsplanung und Wissensmanagement		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2021 bis 31.05.2025		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 90.057,19 €
Projektleiter/-in: Dr. Kai Kosowski		E-Mail-Adresse des Projektleiters: kai.kosowski(at)preussenelektra.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Während der Beprobung der Betonstrukturen des Reaktorgebäudes im Kernkraftwerk Stade wurden Kontaminationen in der Betonkalotte, also dem unteren Teil des Reaktorsicherheitsbehälters, vorgefunden. Diese wurden durch Primärkreiswasser während des Anlagenbetriebes eingetragen. Es ist davon auszugehen, dass dieses Problem auch andere kerntechnische Anlagen in Deutschland und weltweit betrifft. Für den Rückbau der Betonstrukturen ist ein Ermitteln und Kartieren der Kontaminationen notwendig. Dies erfolgt nach dem aktuellen Stand der Technik durch Kernbohrungen und Laboranalysen des Bohrkernmaterials. Dabei schränken fehlende Zugänglichkeit, baustatische Randbedingungen und Kosten die Zahl der Beprobungsbohrungen ein. Eine Alternative zu Kernbohrungen sind Bohrungen ins Volle. Mit schmalen Bohrlöchern können deutlich mehr Bohrungen gesetzt werden, ohne die Baustatik zu gefährden. Da bei diesem Bohrverfahren keine 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 tiefen aufgelösten 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 vorangegangenen Projektzeitraum wurden seitens TUD-PBM die experimentellen Arbeiten zur elektrischen Impedanzspektroskopie zum Nachweis und zur Quantifizierung von Feuchtigkeit in Betonproben weiter vorangetrieben. Begleitet und validiert wurden die experimentellen Arbeiten mit Simulationsergebnissen, die mit COMSOL®-Multiphysics generiert wurden. Die Qualität und Vergleichbarkeit wurden durch den Einsatz von kommerziellen Federelektroden erreicht, die der endgültigen Elektrodenanordnung für das Lanzendesign nahekommen. Aufgrund der Komplexität der Federelektrodengeometrie und der Notwendigkeit einer Systemvalidierung wurde die Messung für verschiedene Materialien mit bekannten Leitfähigkeiten und Permittivität (z. B. Luft, deionisiertes Wasser, Leitungswasser, Papier, Kunststoff, trockener und feuchter Beton) durchgeführt, um die Kalibrierungsgenauigkeit zu gewährleisten. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde das neue, innovative Design des Lanzenkopfes in 3D CAD (Autodesk Inventor) fertiggestellt und als Prototyp vollständig aufgebaut. Herzstück ist ein in sich bewegliches 3D-Druckteil. Es werden drei Federn als Elektroden verwendet. Diese werden in radialen Einstichen so angeordnet, dass sie alle gemeinsam mittels einer mechanischen Spreizvorrichtung gegen die Lochinnenwand gedrückt werden können. Das neue Design verfügt somit über ausfahrbare, umlaufende Federkontakte, die sich ideal an die raue Betonoberfläche anschmiegen und Durchmesservariationen überbrücken, ohne dabei die Elektrodenkontaktfläche oder den Elektrodenabstand zu verändern. Während der axialen Bewegung der Lanze im Bohrloch werden die Elektroden automatisch eingezogen, um eine Abrasion der Elektroden zu vermeiden. Für die Anwendung der hochfrequenten Radartechnologie wurden in Zusammenarbeit mit unserem Forschungspartner am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) parametrische Hochfrequenz-2D-Simulationen mit COMSOL®-Multiphysics durchgeführt, analysiert und ausgewertet, um die Anwendbarkeit der

Radartechnik mit einem Koaxialwellenleiter zu untersuchen. Die von TUD-IKTP erhobenen Daten wurden weiter analysiert und die Auswertung abgeschlossen. Ein Vergleich der Aktivitäten aus der Sondenmessung vor Ort im Kernkraftwerk Unterweser mit den von PreussenElektra durchgeführten Bohrkernanalysen hat eine Übereinstimmung ergeben. Die bestimmte Aktivitätskonzentration ist in der Größenordnung des Freigabewertes, womit eine hochempfindliche Feldmessung im Kernkraftwerk gelungen ist und nachgewiesen wurde.

AP 3: Die experimentelle Untersuchung des Radionuklidtransports durch Betonzylinder mit Fugen ist abgeschlossen. Alle drei Transportmechanismen – Permeabilität, Sorption und Diffusion – wurden berücksichtigt. Es wurden Pulverproben entnommen, um die Eindringtiefen der Radionuklide zu bestimmen. Die Proben werden derzeit gesichert gelagert und demnächst zur Konzentrationsbestimmung an ein chemisches Labor geschickt. Zur Validierung der experimentellen Ergebnisse wurden COMSOL-Modelle für die drei Transportmechanismen entwickelt. Anhand der experimentellen Ergebnisse werden die Modelle validiert. Analysen und Tests an den Bohrkernproben, die von PreussenElektra aus einem weiteren Kernkraftwerk zur Verfügung gestellt wurden, laufen noch.

AP 4: Im Berichtszeitraum wurde die Visualisierungsanwendung um zusätzliche Exportoptionen erweitert. Dies umfasst die Möglichkeit, gezielt PDF-Reports für bestimmte Radionuklide zu erstellen und ausgewählte Proben zu exportieren. Die von Dornier Nuclear Services GmbH bereitgestellten Probandaten und Lokalisationsinformationen wurden durch neue Datensätze ergänzt und um zusätzliche, präzisere Lokalisationspunkte erweitert. Darüber hinaus wurde die Visualisierung der Daten optimiert und der zugrundeliegende CAD-Datensatz überarbeitet, um eine noch genauere und benutzerfreundlichere Darstellung zu gewährleisten.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP 1: Es sind weitere COMSOL®-Multiphysics Simulationen zur Hochfrequenz-Radarmessung an einem 3D-Modell sowohl mit Sonden auf Basis von Koaxialkabeln als auch mit Antennengruppen geplant. Bei Erfolg sollen die 3D-Simulationsergebnisse des Koaxialkabels und der Antennengruppe dann mittels Radartechnik in Bohrlochphantomen im Labor experimentell validiert werden. Dazu ist eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik am KIT geplant. Für die Analysen und Modellvalidierungen werden wieder verschiedene Feuchtigkeitsgrade an diversen Betonproben eingestellt und getestet. Parallel dazu werden Echtzeitmessungen mit der neuen entwickelten EIS-Sonde durchgeführt. Bei TUD-IKTP sind die Forschungsarbeiten abgeschlossen.

AP 3: Sobald die experimentellen Ergebnisse der Tiefenprofile der Ionenkonzentrationen vorliegen, kann das kombinierte Kontaminationsmodell (bestehend aus Permeabilitäts-, Sorptions- und Diffusionsmodellen) verwendet werden, um das Ausmaß der Kontamination im Kernkraftwerk zu modellieren und zu simulieren. Die Ergebnisse der Bohrkernanalyse werden zur Kalibrierung des Modells herangezogen.

AP 4: In der nächsten Phase wird die Visualisierungsanwendung um weitere Exportfunktionen ergänzt, insbesondere durch die Unterstützung von maschinenlesbaren Formaten wie JSON und CSV. Zusätzlich werden erweiterte Filtermöglichkeiten implementiert, die eine gezielte Erstellung von Berichten nach spezifischen Kriterien ermöglichen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der kontinuierlichen Erweiterung der Datenbasis durch zusätzliche Probandaten und Lokalisationsinformationen, die erneut von der Doktorandin des assoziierten Partners Dornier Nuclear Services

GmbH bereitgestellt werden, um die Funktionalität und den Darstellungsgehalt des Systems weiter zu verbessern.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Nurjahan T.; de Assis Dias, F.; Schleicher, E.; Hampel, U., Measurement of moisture content in the reactor building during decommissioning of nuclear power plants, Invited talk, Technische Universität Chemnitz, Germany, 04.12.2024.

Nurjahan T.; de Assis Dias, F.; Schleicher, E.; Hampel, U., In-situ moisture measuring in concrete structures of containment building during decommissioning of nuclear power plants, Jaderné DNY 2024, Best poster award (3rd place), University of West Bohemia, Czech Republic 12.-13.09.2024.

Nurjahan T.; de Assis Dias, F.; Schleicher, E.; Hampel, U., Breaking the wall of nuclear waste management, Falling Walls Lab 2024, Best presentation award (3rd place), University of Wroclaw, Poland, 14.09.2024.

Rauf, A.; Köberle, T.; Schröfl, C.; Butler, M.; Mechtcherine, V., Multi-method characterization of 50-year-old mass concrete from the nuclear power plant Unterweser in Germany: A forensic approach, Case Studies in Construction Materials, 21 (2024) e03770, DOI 10.1016/j.cscm.2024.e03770

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 30.09.2025		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 und Datenübergabe): Validierung der Visualisierung von Störstellen im Modell und geeignete Datenübergabe

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 Arbeitsprogrammpunkten)

Die bisher durchgeführten Arbeiten verliefen in enger Kooperation mit **RWE**. In dem angegebenen Berichtszeitraum fanden regelmäßige Online-Projekttreffen sowie im November Versuche in Mülheim-Kärlich statt im Rahmen von **AP2**. Die endgültige Auswahl der Messtechnik zur Detektion der beschichteten Ankerplatten ist inzwischen erfolgt. Es wurde beschlossen, dass der Kauf entsprechender Messgeräte (Wärmebildkamera und geeignetes Erwärmungsgerät) nicht im Rahmen des Projekts stattfindet. Stattdessen hat **RWE** im Dezember 2024 anhand der im Projekt getroffenen Empfehlungen entsprechende Geräte gekauft, damit diese auch nach Ende des Projekts bei der Raumdatenerfassung zum Einsatz kommen können. Somit wurde **AP2** abgeschlossen. Aktuell arbeitet **KIT** an den **AP4** und **AP5**. Daneben wird im Rahmen erster Abstimmungen zwischen **KIT** und **RWE** das **AP6** vorbereitet.

AP2: Datenaufnahme und Aufbau Versuchsstand

3.1 Geräte zur Störstellendetektion

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 verschiedene potentiell zur Detektion geeignete Verfahren ermittelt und getestet. Die Versuche im **AP2** zeigten, dass die aktive Thermographie mit den entsprechenden Geräten zur berührungslosen Detektion der beschichteten Ankerplatten geeignet ist. Sie kristallisierte sich somit als nach aktuellem Stand beste Methode heraus.

Auf Grundlage von Empfehlungen der **BAM** und eigener Recherchen wurden durch **KIT** und **RWE** Empfehlungen für den Kauf von Thermographiekameras und Erwärmungsgeräten gegeben. Der Kauf wurde im Dezember 2024 durch **RWE** außerhalb des Projekts durchgeführt. Die Geräte sollen zukünftig dort bei der Raumdatenerfassung zum Einsatz kommen. Für die zukünftige Vorgehensweise ist somit ein entsprechender Prozess festzulegen. Dafür wäre es sinnvoll, zu untersuchen, wie dieser Prozess durch Automatisierung für die Mitarbeiter im KKW weiter vereinfacht werden kann.

AP4: Software-Entwicklung

3.2 Störstellenextraktion

Für die Extraktion der sichtbaren Störstellen aus der Punktwolke werden verschiedene Verfahren aus der visuellen Künstlichen Intelligenz (KI) genutzt. Hierfür ist es notwendig, eine entsprechende Datengrundlage zu erzeugen. Dazu wurde die gesamte Punktwolke unterteilt in einen Trainings-, Validierungs- und Testdatensatz. Da eine dreidimensionale Objekterkennung sehr ressourcenintensiv ist, wurden als Eingangsdaten für die Objektextraktion zweidimensionale Bilder verwendet, welche aus der Punktwolke berechnet wurden. Für jedes Bild wurden aus den Scan-Daten unterschiedliche Kanäle, z. B. RGB- oder Intensitätswerte abgeleitet. In den Bildern, die als Trainings- und Validierungsdaten dienen, wurden die zu extrahierenden Objekte gelabelt, d. h.

manuell mit einem umschließenden Rechteck markiert und der entsprechenden Objektklasse zugeordnet. Die Anforderungen an die zu extrahierenden Objektklassen wurden in Abstimmung mit **RWE** spezifiziert. Es wurden erste Tests und Genauigkeitsuntersuchungen der Objekterkennung durchgeführt.

Diese ersten Objektextraktionen zeigen sehr gute Ergebnisse bei der Erkennung und Lokalisierung von Öffnungen, insbesondere Rohrdurchführungen und hervorstehenden Bauteilen. Andere Objekte, welche plan in den Gebäudeflächen liegen wie z.B. Ankerplatten, erzeugen niedrigere Detektionsraten. Durch die Hinzunahme weiterer Trainingsdaten und Bildinformationen soll die Extraktion dieser Objekte verbessert werden. Weitere mögliche Untersuchungen wären, inwiefern die Objekterkennung durch die Verwendung von dreidimensionalen Daten weiter verbessert und die Zuverlässigkeit erhöht werden könnte.

Es werden Ansätze untersucht, um die detektierten Objekte mit allen relevanten Informationen in die bei **RWE** bestehende Datenbankstruktur einzugliedern.

AP5: Modellintegration der Störstellen

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

Im **AP5** wurden bereits im letzten Jahr erste Untersuchungen zur automatisierten Integration von mit klassischer Bildverarbeitung detektierten sichtbaren Störstellen in das im **AP3** manuell erstellte BIM-Modell mittels Programmierung in Dynamo durchgeführt. Aktuell wird die Aufbereitung der Ergebnisse aus der KI-gestützten Objekterkennung zur Integration in das BIM-Modell untersucht. Da sich die Modellierung des BIM-Modells im **AP3** als sehr zeitaufwändiger Schritt herausgestellt hatte, wäre es sinnvoll, zu untersuchen, ob auch das BIM-Modell des Gebäudes selbst, welches als Grundlage für die Integration der Störstellen dient, automatisiert erstellt werden könnte.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

In den nächsten Monaten erfolgt die Weiterentwicklung der KI-gestützten Objektextraktion. Insbesondere soll die Integration der Wärmebilddaten in die Objekterkennung (**AP4**) sowie ins BIM (**AP5**) untersucht werden.

Außerdem wird im Rahmen des **AP6** die Aufbereitung der Daten und Visualisierungen für die Übergabe an RWE vorbereitet. Dafür wurde bereits eine Vorabstimmung mit RWE durchgeführt, in der grob die Anforderungen an die zu übergebenden Daten geklärt wurden. Weitere Abstimmungstermine folgen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

Peer-reviewed Full Paper und Vortrag beim Forum Bauinformatik, Hamburg, 2024

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9435B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWE Nuclear GmbH		
Vorhabenbezeichnung: VP: Visualisierung von Störstellen für Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmes- sungen 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 30.09.2025		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 77.852,40 €
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 essenziell, 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 und Datenübergabe): Validierung der Visualisierung von Störstellen im Modell und geeignete Datenübergabe

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 **KIT**. In dem angegebenen Berichtszeitraum fanden regelmäßige Online-Projekttreffen sowie im November Versuche in Mülheim-Kärlich statt im Rahmen von **AP2**. Die endgültige Auswahl der Messtechnik zur Detektion der beschichteten Ankerplatten ist inzwischen erfolgt. Es wurde beschlossen, dass der Kauf entsprechender Messgeräte (Wärmebildkamera und geeignetes Erwärmungsgerät) nicht im Rahmen des Projekts stattfindet. Stattdessen hat **RWE** im Dezember 2024 anhand der im Projekt getroffenen Empfehlungen entsprechende Geräte gekauft, damit diese auch nach Ende der Projektlaufzeit bei der Raumdatenerfassung zum Einsatz kommen können. Somit konnte **AP2** abgeschlossen werden. Aktuell wird im Rahmen erster Abstimmungen zwischen **KIT** und **RWE** das **AP6** vorbereitet.

Ebenso wurden weitere Projekte (z.B. der RWE im KGG) betrachtet und nach Möglichkeiten zur Verbesserung der BIM-Modellierung und Aktualisierung gesucht. Ebenso sollte die Verarbeitung mittels KI verbessert werden.

AP2: Datenaufnahme

3.1 Geräte zur Störstellendetektion

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 verschiedene potentiell zur Detektion geeignete Verfahren ermittelt und getestet. Die Versuche im **AP2** zeigten, dass die aktive Thermographie mit den entsprechenden Geräten zur berührungslosen Detektion der beschichteten Ankerplatten geeignet ist. Sie kristallisierte sich somit als nach aktuellem Stand beste Methode heraus. Die Ergebnisse der Tests zeigen, dass mit der aktiven Thermographie der Großteil der verdeckten Ankerplatten sichtbar gemacht werden kann. Einzige Ausnahme war eine Platte, die zusätzliche Lufteinschlüsse unter der Beschichtung hatte und somit ein anderes Erwärmungsverhalten zeigte als die restlichen Platten. Dies ist nach unserer Kenntnis ein Einzelfall gewesen.

Auf Grundlage von Empfehlungen der **BAM** und eigener Recherchen wurden durch **KIT** und **RWE** Empfehlungen für den Kauf von Thermographiekameras und Erwärmungsgeräten gegeben. Der Kauf wurde im Dezember 2024 durch **RWE** außerhalb des Projekts durchgeführt.

AP6: Visualisierung und Datenübergabe

3.2 Konzept für die Integration in das BIM-Modell und Arbeitsplanung

Aktuell wird in Abstimmung ein Konzept erarbeitet, wie alle relevanten Informationen in das BIM-Modell integriert werden können. Ziel ist die Übernahme von benötigten Daten für die Arbeitsplanung zur Dekontamination oder Messplanung. Hierzu sollten die Daten je Objekt (z.B. je Wand) übernommen werden können.

AP7: Entwicklung einer Planung für Dekontamination und Entscheidungsmessungen

3.3 Konzept für die Dekontamination und Entscheidungsmessungen

Auf Basis der Projektergebnisse aus den früheren AP und den Erkenntnissen aus den verschiedenen Versuchen mit Thermografiekameras wurde der Start in das Arbeitspaket durchgeführt. Hierzu wurden die Erkenntnisse aus den Versuchen mit den Erfahrungen aus dem bisherigen Projekt Gebäudefreigabe der RWE abgeglichen und die nächsten Schritte diskutiert und geplant.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

In den nächsten Monaten erfolgt durch **KIT** die Weiterentwicklung der KI-gestützten Objektextraktion im Rahmen von **AP4** und **AP5**.

Außerdem wird im Rahmen des **AP6** die Aufbereitung der Daten und Visualisierungen für die Übergabe von **KIT** an **RWE** vorbereitet. Dafür wurde bereits eine Vorabstimmung mit **KIT** durchgeführt, in der grob die Anforderungen an die zu übergebenden Daten geklärt wurden. Weitere Abstimmungstermine folgen.

Die **RWE** hat mit den Arbeiten an **AP7** begonnen. Die Thermografieaufnahmen werden unter verschiedenen Bedingungen getestet, um die optimalen Parameter für die Detektion der Ankerplatten zu bestimmen. Dabei wurden unterschiedliche Kamerawinkel, Entfernungen und Erwärmungszeiten getestet.

Diese Erkenntnisse sollen nun in das AP7 einfließen, die Entwicklung einer Planung für Dekontamination und Entscheidungsmessungen durchzuführen. Hierzu werden die Erfahrungen und Lessons Learned aus früheren Arbeiten, um die neuen Erkenntnisse aus ViSDeMe angereichert.

Die bisherigen Ergebnisse haben gezeigt, dass es sinnvoll wäre, eine Verbesserung und ggfs. Automatisierung der Gebäude-Modellierung zu untersuchen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9439A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWE Nuclear GmbH, RWE-Platz 2, 45141 Essen		
Vorhabenbezeichnung: VP: Autonome robotergestützte Reinigung und Vormessung, TP: Prototypenbau einer autonomen Anlage zur Dekontamination und radiologischen Messung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2023 bis 31.12.2025		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 unbekannten 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 eine unterschiedliche Bewegungsstrategie. Die roboterseitig zu handhabenden Werkzeuge stellen zudem höhere Anforderungen an die kinematische Steuerung: die eindimensionale Wirkzone des Laserwerkzeugs am Endeffektor ist aus Effizienzgründen in der Orientierung quer zur Verfahrriichtung zu halten und sollte 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 Messraster 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 (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP1 – Anforderungsanalyse und Systemdesign

Das Systemdesign der Anlage mit zwei nebeneinander liegenden Arbeitsstationen (Roboterzellen) für die Laserdekontamination und die radiologische Messung wurde ingenieurtechnisch derart verfeinert, dass darauf basierend eine Konstruktion und Fertigung der Komponenten durch den Anlagenbauer aufgebaut werden konnte. Die technischen Lösungen für das Bauteiltransportsystem, das Bauteile mit bis zu 300kg Gewicht zuverlässig den Roboterzellen zuführen soll, wurde mehrfach überarbeitet und das Stadium der Vorplanung konnte sowohl für dieses System als auch für die weiteren größeren Komponenten abgeschlossen werden. Die Anforderungen für den Aufbau am Standort haben sich im Jahr 2024 hinsichtlich des Aufstellortes mehrfach geändert, sodass das Anlagendesign, insbesondere die Aufstellung und Verbindung der Zellen mit den Zonen der Bauteilbestückung verschiedentlich an neue Gegebenheiten angepasst werden musste. Mittlerweile ist aus den vielfachen Änderungen ein quasi modulares Anlagendesign entstanden, das sich auch künftig bei sich ändernden Anforderungen durch neue Raumbereiche flexibel anpassen lässt. Für den Laborprototyp, der vor allem die Entwicklung der Software begleitet, werden die gleichen kinematischen Komponenten wie in der RWE-Anlage zum Einsatz kommen. Für den späteren Einsatz im realen Betrieb wurden radiologische und weitere Annahmekriterien für die zu bearbeitenden Bauteile definiert. Diese werden im internen Abbauprozess in den Materialfluss integriert.

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

Hinsichtlich der Arbeiten für die Geometrieerkennung der Bauteile wurde in Zusammenarbeit mit dem IGD die Spezifikationen für die Sensoren überarbeitet. Durch neue Übertragungstechniken lassen sich höhere Geschwindigkeiten beim Scanprozess erzielen. Aus dem IGD-Simulationsmodell des Laserscanners wurden die Entwürfe zur Integration der optischen Komponenten zum Abschluss für einen ersten Prototyp gebracht. Zur Adaption am Roboterarm wurde ein Gehäusemodell entwickelt und der Aufwand an Verkabelung, Datenvorverarbeitung und Schnittstellen optimiert. Der Laserscanner wird mit drei Kameras und zwei verschiedenen Brennweiten betrieben. Die Bestellung der erforderlichen Komponenten wurde eingeleitet. Am virtuellen Modell der Roboteranlage wurden möglichst optimale Posen des Roboterarms und Bewegungsabläufe für den Scanvorgang der Bauteile untersucht.

AP3 – Laserdekontamination

Das 3D-CAD-Modell für den Laser-Bearbeitungskopf mit integrierter Sensorik zur Geometrieerkennung wurde weiterentwickelt. Es wurde ein praktikabler und eleganter Vorschlag für die kritische Schlauchführung der optischen Faser und der Medienleitungen unter Einhaltung der technischen Spezifikationen erarbeitet. Die technische Lösung scheint aussichtsreich und wird Anfang 2025 von dem Laserhersteller und Anlagenbauer geprüft. Vom ursprünglich in Erwägung gezogenen Einsatz einer Simulationssoftware für biegeschlaffe Bauteile wurde abgesehen, da wir mitt-

lerweile davon ausgehen, die finale Schlauchführung mit den vorhandenen Mitteln und durch Tests am Objekt entwerfen zu können.

Darüber hinaus wurde die Absauganlage für den Laserrauch bestellt und inzwischen beim Systemintegrator angeliefert. Gemeinsam mit den Lüftungstechnischen Experten des Herstellers und der Standort-Fachabteilung wurde die lokale Absaugung am Laserkopf und für die Laserkabine über Dach, nach dem Schutzstufenkonzept für Nuklearanlagen geplant.

AP4 – Vormessung (Orientierungsmessung)

Das Konzept zur radiologischen Messung für Statusmessungen am Bauteil mit Ortsauflösung wurde weiter ausgearbeitet. Geeignete digitalfähige Detektoren wurden spezifiziert und beschafft. Die IBS der Zählrohre sowie deren Abnahme, die Kalibrierung und die Adaptierung am Roboterarm wurden vorbereitet.

AP5 – Integration und Evaluation

Zur Systemintegration wurde ein geeigneter Anlagenbauer per Ausschreibung ermittelt und beauftragt. Die Ausführungsplanungen für die Herstellung der Anlage wurden für die größeren Komponenten fertiggestellt. Die vorbereitenden Arbeiten des vorangegangenen Halbjahres wurden aufgegriffen und weiterentwickelt. Als Ergebnis wurde u.a.:

eine spezielle Linearschienenkonstruktion erarbeitet, die sehr belastbar, aber gleichzeitig leicht und teilbar ist, sodass sie mit den Lastaufzügen am Standort transportiert werden kann

eine automatische, modular aufgebaute Bauteiltransporteinrichtung wurde geplant.

Konzepte zur Absicherung der Gefahrenbereiche wurden erarbeitet und mit den örtlichen Fachabteilungen am Standort diskutiert. Die Anlage wird nach dem AtG angemeldet, Vorbereitungen dazu wurden eingeleitet.

AP7 – Projektmanagement

Die technischen Leistungen zu den AP 2, 3 und 4 erforderten eine andauernde intensive Abstimmung mit dem wissenschaftlichen Partner IGD und ebenfalls mit dem Anlagenbauer. Die Abstimmung mit den örtlichen Fachabteilungen zur Suche geeigneter Standorte für die Aufstellung der Anlage wurden intensiviert und finale Lösungen erarbeitet. Die Verlängerung der Projektlaufzeit wurde beantragt und bis ultimo 2025 bestätigt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP1: Abstimmung von letzten Details im Anlagendesign, auch betreffs der Vorbereitenden Maßnahmen zur Integration der Anlage am Standort. Anmeldung bei den Überwachungsbehörden.

AP2: Erstellung eines Prototypgehäuses mit den Komponenten des Laserscanners und Durchführung von Testprogrammen.

AP3: Weiterbearbeitung der technischen Lösung für die Schlauchführung am Roboter und zur Integration des Laserscanners am Endeffektor. Prüfung der Wirkparameter und Erstellung eines Konzepts zur Integration in die Bahnplanung.

AP4: IBS der Detektoren, Kalibrierung, Tests mit Probepreparaten, den Schnittstellen und Beginn der Programmierung erster Auswertestrategien. Entwicklung des Konzepts für die Messstrategie, die elektronische Auswertung und die Dokumentation.

AP5: Ingenieurtechnische Begleitung der Arbeiten des Anlagenbauers, Teilabnahmen im Werk, Prüfung der Konstruktionen und Sicherheitstechnik durch RWE-Fachabteilungen

AP6: Bautechnische Vorbereitung des Aufstellplatzes für den ersten Prototyp. Herstellung der Versorgung mit Strom, Beleuchtung, Internet etc.

AP7: Management der verzögerungsbehafteten Termsituation. Pushen der Entwicklungsarbeiten am Laserscanner, der radiologischen Messung und bei der Integration der Roboterwerkzeuge. Anmeldung der Anlage und Vorprüfung durch die zuständigen Behörden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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, TP: Autonome Laserablation und radiologische Vormessung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2023 bis 31.12.2025		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.203.354,20€
Projektleiter/-in: Pedro Santos		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Pedro.santos@igd.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Projekts ist, eine automatisierte und autonome robotergestützte Dekontamination von Bauteiloberflächen und die radiologische Messung von vorher unbekannten 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 eine unterschiedliche Bewegungsstrategie. Die roboterseite zu handhabenden Werkzeuge stellen zudem höhere Anforderungen an die kinematische Steuerung: die eindimensionale Wirkzone des Laserwerkzeugs am Endeffektor ist aus Effizienzgründen in der Orientierung quer zur Verfahrriichtung zu halten und sollte 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 Messraster 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 sowie dafür erforderliche Bahnplanung 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

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

AP1 – Anforderungsanalyse und Systemdesign

Das Systemdesign der Anlage mit zwei nebeneinander liegenden Arbeitsstationen (Roboterzellen) für die Laserdekontamination und die radiologische Messung wurde ingenieurtechnisch derart verfeinert, dass darauf basierend eine Konstruktion und Fertigung der Komponenten durch den Anlagenbauer aufgebaut werden konnte. Die technischen Lösungen für das Bauteiltransportsystem, das Bauteile mit bis zu 300kg Gewicht zuverlässig den Roboterzellen zuführen soll, wurde mehrfach überarbeitet und das Stadium der Vorplanung konnte sowohl für dieses System als auch für die weiteren größeren Komponenten abgeschlossen werden. Die Anforderungen für den Aufbau am Standort haben sich in 2024 hinsichtlich des Aufstellortes mehrfach geändert, sodass das Anlagendesign, insbesondere die Aufstellung und Verbindung der Zellen mit den Zonen der Bauteilbestückung verschiedentlich an neue Gegebenheiten angepasst werden musste. Mittlerweile ist aus den vielfachen Änderungen ein quasi modulares Anlagendesign entstanden, das sich auch künftig bei sich ändernden Anforderungen durch neue Raumbereiche flexibel anpassen lässt. Für den Laborprototyp, der vor allem die Entwicklung der Software begleitet, werden die gleichen kinematischen Komponenten wie in der RWE-Anlage zum Einsatz kommen. Für den späteren Einsatz im realen Betrieb wurden radiologische und weitere Annahmekriterien für die zu bearbeitenden Bauteile definiert. Diese werden im internen Abbauprozess in den Materialfluss integriert.

Am Fraunhofer IGD wurden mittlerweile die Beschaffungsvorgänge für Roboterarm sowie Integration auf Linearachse sowie Demonstrator-/Testaufbau am Standort Darmstadt abgeschlossen. Nach Auswahl der Komponenten (Roboterarm, Linearachse) durch das Projektteam wurde ein vereinfachter Aufbau der Laserdekontaminations-Roboterzelle spezifiziert und bestellt, der aus dem identischen Roboterarm Stäubli TX2-160L, wie er für beide Zellen in Biblis zum Einsatz kommen wird, integriert auf der ebenfalls dazu identischen Linearachse eingesetzt in beiden Zellen, besteht (s. Abb. 1).

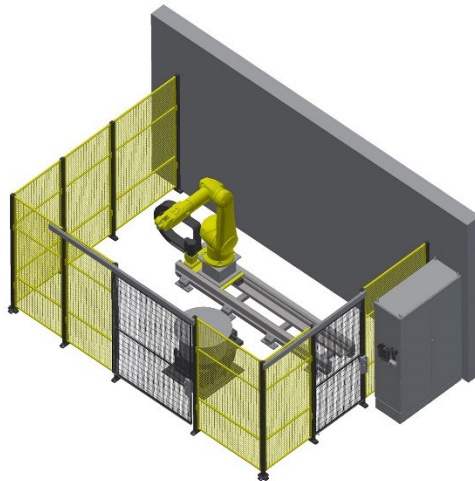


Abb. 1: Laboraufbau der Laserdekontaminations-Roboterzelle.

Der Grund des frühestmöglichen Aufbaus dieser Roboterzelle mit identischen Komponenten (mit Ausnahme des Ablationslaserkopfes, der durch einen baugleichen Simulationskopf ersetzt werden wird), liegt in der erhöhten Komplexität der Programmierung der Echtzeit-Steuerung des Robotiksystems, das 7 synchron gesteuerte Achsen umfasst (6-DOF Roboterarm, synchron verfahren auf 1-DOF Linearachse). Auch wenn alle Komponenten im Rahmen der Softwareentwicklung simuliert werden, sind zahlreiche entwicklungsbegleitende Tests am realen System erforderlich, um die hohen Positionierungsgenauigkeiten durch akkurate Bahnplanung zu validieren (s. AP2). Derzeit befindet sich der Laboraufbau für das Fraunhofer IGD im Aufbau bei der Firma Weber Schweißmaschinen und wird voraussichtlich noch vor April 2025 am Fraunhofer IGD aufgebaut.

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

Das Fraunhofer IGD erarbeitete zusammen mit RWE Bibis und TSE neue Anforderungen an die Spezifikation der 3D-Sensorik. Im Gegensatz zu ROBBE arbeitet die Laserablation aufgrund des einzuhaltenden Schärfentiefebereichs der Laseroptik mit einem deutlich schmaleren Toleranzbereich. War bei ROBBE eine Toleranz im Zentimeterbereich akzeptabel ohne größeren Einfluss auf die Reinigungswirkung, so befindet sich die akzeptable Positionierungstoleranz bei ARRIVE im Millimeterbereich.

Um ähnliche 3D-Scanzeiten wie bei ROBBE zu erreichen, muss hierzu die Erfassungsleistung des 3D-Scansystems erhöht werden. Hierzu wurde ein Simulationsmodell für einen Scankopf mit zwei Erfassungskameras erstellt. Mit dessen Hilfe wurde die Spezifikation der Kameras und deren optischer Komponenten ermittelt. Zudem wurde auf Basis dieser Informationen die Entwicklung eines Prototyps angestoßen, der mit dem Endeffektor des Roboterarms integriert wird. Um die höhere Erfassungsleistung auf einer großen Erfassungstiefe zu erzielen und das Gewicht zu reduzieren, enthält der neue Scankopf keine eigene Bildverarbeitungsrecheneinheit mehr. Die Geometrieverarbeitung findet nun auf der Hauptrecheneinheit (Industrie-PC) statt. Die beiden Geometrikameras sind direkt mittels Coaxlink-Schnittstelle angebunden, was grob einer Verfünfachung der Datenrate gegenüber der USB 3.0-Schnittstelle bei ROBBE entspricht.

Neben der reinen Geometrieerfassung enthält der neue Scankopf auch eine Farbkamera. Diese wird für Dokumentationszwecke verwendet und kann je nach Material zusätzlich zur Überprüfung der Reinigungswirkung herangezogen werden. Die Geometrieerfassung erfolgt in zwei Phasen: Phase eins versucht in sicherem (unabhängig von der Objektgeometrie kollisionsfreiem) Abstand alle Objekte auf dem Drehtisch zu erfassen und hierfür die Bahnplanung der Reinigungsbahnen zu erstellen. Hierzu werden beide Kameras ver-

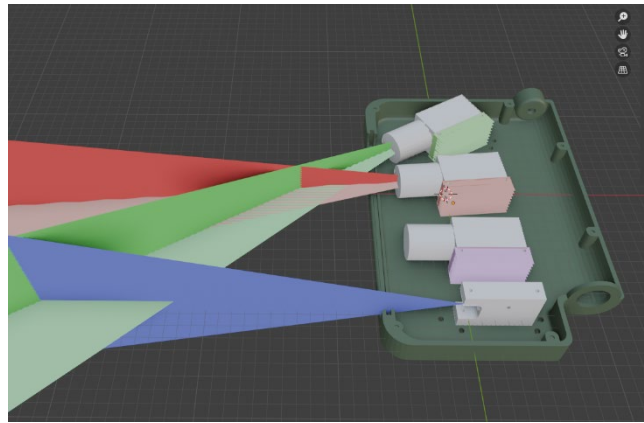


Abb. 2: Aufbau des ARRIVE Scankopfs.

wendet, um Geometrie innerhalb des gesamten vom Drehtisch aufgespannten (Drehtischfläche x zulässige maximale Objekthöhe) Volumens erfassen zu können. Phase zwei führt dann mittels der Nahbereichskamera Feinjustierungen durch, um den Fokuspunkt des Ablationslasers exakte steuern zu können. Aktuell wird basierend auf diesem Konzept ein erster Scankopf gebaut und getestet. In Abb. 2 ist dargestellt, wie dieser aufgebaut ist:

- Hellgrün: Kamera und Frustum (Pyramidenstumpf, Kameraerfassungsvolumen definiert durch horizontalen und vertikalen Öffnungswinkel des Kameraobjektivs in Verbindung mit Sensorgeometrie) für den Nahbereich.
- Hellrot: Kamera und Frustum für den Fernbereich.
- Violett: Farbkamera für die Dokumentation.

Die blaue Dreiecksfläche stellt die vom Linienlaser aufgespannte Ebene dar, deren Schnittlinie mit den Frustums der beiden Kameras für Nah- und Fernbereich auf der Objektoberfläche die Erfassung von 3D-Punkten auf der Objektoberfläche ermöglicht.

Die nächsten Schritte bestehen darin, durch Tests herauszufinden, ob die Laserleistung des Linienlasers zur 3D Erfassung bei den hohen Übertragungsgeschwindigkeiten der Kameras ausreichend ist. Zudem wird ermittelt, welche Scangeschwindigkeiten (Vorschubgeschwindigkeit des Roboterarms zur Bewegung der Laserlinie über das Objekt, alternativ Rotation des Objekts auf dem Drehtisch bei stillstehendem Roboterarm) erreicht werden können und wie hoch die Tiefengenauigkeit der Erfassung mit der Doppelkamerakombination ist.

AP3 – Laserdekontamination

Das 3D-CAD-Modell für den Laser-Bearbeitungskopf mit integrierter Sensorik zur Geometrieerkennung wurde weiterentwickelt. Es wurde ein praktikabler und eleganter Vorschlag für die kritische Schlauchführung der optischen Faser und der Medienleitungen unter Einhaltung der technischen Spezifikationen erarbeitet. Die technische Lösung scheint aussichtsreich und wird Anfang 2025 von dem Laserhersteller und Anlagenbauer geprüft. Vom ursprünglich in Erwägung gezogenen Einsatz einer Simulationssoftware für biegeschlaffe Bauteile wurde abgesehen, da wir mittlerweile davon ausgehen, die finale Schlauchführung mit den vorhandenen Mitteln und durch Tests am Objekt entwerfen zu können.

Darüber hinaus wurde die Absauganlage für den Laserrauch bestellt und inzwischen beim Systemintegrator angeliefert. Gemeinsam mit den Lüftungstechnischen Experten des Herstellers und der Standort-Fachabteilung wurde die lokale Absaugung am Laserkopf und für die Laserkabine über Dach, nach dem Schutzstufenkonzept für Nuklearanlagen geplant.

AP4 – Vormessung (Orientierungsmessung)

Das Konzept zur radiologischen Messung für Statusmessungen am Bauteil mit Ortsauflösung wurde weiter ausgearbeitet. Geeignete digitalfähige Detektoren wurden spezifiziert und beschafft. Die IBS der Zählrohre sowie deren Abnahme, die Kalibrierung und die Adaptierung am Roboterarm wurden vorbereitet.

AP5 – Integration und Evaluation

Zur Systemintegration wurde ein geeigneter Anlagenbauer per Ausschreibung ermittelt und beauftragt. Die Ausführungsplanungen für die Herstellung der Anlage wurden für die größeren Komponenten fertiggestellt. Die vorbereitenden Arbeiten des vorangegangenen Halbjahres wurden aufgegriffen und weiterentwickelt. Als Ergebnis wurden u. a.:

- eine spezielle Linearschienenkonstruktion erarbeitet, die sehr belastbar, aber gleichzeitig leicht und teilbar ist, sodass sie mit den Lastaufzügen am Standort transportiert werden kann,
- eine automatische, modular aufgebaute Bauteiltransporteinrichtung geplant.

Konzepte zur Absicherung der Gefahrenbereiche wurden erarbeitet und mit den örtlichen Fachabteilungen am Standort diskutiert. Die Anlage wird nach dem AtG angemeldet, Vorbereitungen dazu wurden eingeleitet.

AP7 – Projektmanagement

Die technischen Leistungen zu den AP 2, 3 und 4 erforderten eine andauernde intensive Abstimmung und ebenfalls mit dem Anlagenbauer. Die Abstimmung mit den örtlichen Fachabteilungen zur Suche geeigneter Standorte für die Aufstellung der Anlage wurden intensiviert und finale Lösungen erarbeitet. Die Verlängerung der Projektlaufzeit wurde beantragt und bis ultimo 2025 bestätigt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP1: Abstimmung von letzten Details im Anlagendesign, auch betreffs der Vorbereitenden Maßnahmen zur Integration der Anlage am Standort. Anmeldung bei den Überwachungsbehörden.

AP2: Erstellung eines Prototypgehäuses mit den Komponenten des Laserscanners und Durchführung von Testprogrammen.

AP3: Weiterbearbeitung der technischen Lösung für die Schlauchführung am Roboter und zur Integration des Laserscanners am Endeffektor. Prüfung der Wirkparameter und Erstellung eines Konzepts zur Integration in die Bahnplanung.

AP4: IBS der Detektoren, Kalibrierung, Tests mit Probepreparaten, den Schnittstellen und Beginn der Programmierung erster Auswertestrategien. Entwicklung des Konzepts für die Messstrategie, die elektronische Auswertung und die Dokumentation.

AP5: Ingenieurtechnische Begleitung der Arbeiten des Anlagenbauers, Teilabnahmen im Werk, Prüfung der Konstruktionen und Sicherheitstechnik durch RWE-Fachabteilungen

AP6: Bautechnische Vorbereitung des Aufstellplatzes für den ersten Prototyp. Herstellung der Versorgung mit Strom, Beleuchtung, Internet etc.

AP7: Management der verzögerungsbehafteten Terminsituation. Pushen der Entwicklungsarbeiten am Laserscanner, der radiologischen Messung und bei der Integration der Roboterwerkzeuge. Anmeldung der Anlage und Vorprüfung durch die zuständigen Behörden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 Innenkanten-dekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKONT-2), TP: Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 248.148,30€
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 Rückbauunternehmen 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, wurde das Projekt „EKont“ mit dem Ziel, die Leistungsparameter der aktuell verwendeten Geräte zu untersuchen und Verbesserungsmöglichkeiten zu finden, durchgeführt. Hier wurden bereits mehrere Demonstratoren entwickelt und in einem Versuchsaufbau erprobt. Da mögliche Verbesserungen bei diesem Projekt aufgetreten sind, wird aktuell das Forschungsprojekt „EKont-2“ durchgeführt, welches an das bestehende EKont-Projekt anknüpft. Der Kern dieses Folgeprojektes ist die Verbesserung der Handhabbarkeit des Gerätes, der Oberflächenqualität der dekontaminierten Innenkanten, die Möglichkeit einer exakten Tiefenführung sowie die Gewährleistung von Staubbefreiheit während der Bearbeitung.

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 3: Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand

Es wurde eine neuartige Werkzeugaufnahme zur Zusammenführung von Testwerkzeug und Versuchsstand konstruiert, gebaut und erprobt, da sich die Geometrie des Trägergeräts zum ursprünglichen Werkzeug verändert hatte. Diese neue Werkzeugaufnahme ermöglichte unter anderem die Untersuchung von verschiedenen Winkeln zur Schrägstellung der Diamantscheiben inklusive Werkzeug und Einhausung. Aus diesem Grund wurde ein Greifsystem um das Werkzeug konstruiert, anschließend gefertigt und erprobt. Das Greifsystem dient zur Fixierung des Werkzeugs und wird über zwei L-Auflager mit der Lineareinheit und der Kraftmessdose verbunden. In die L-Auflager wird hierfür jeweils eine Schwalbenschwanznut als Führung eingefräst. Die verschiedenen Winkel zum Betonabtrag in Vorschubrichtung sollen über ein gebogenes Langloch sowie einen Drehpunkt erreicht werden. Das Arbeitspaket wurde wie geplant größtenteils im ersten Halbjahr 2024 durchgeführt und erfolgreich Ende Juli 2024 beendet.

AP 4: Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse

Bei den experimentellen Versuchsreihen lag der Fokus auf der Schrägstellung der Diamantscheiben zur Verringerung der Restbetonstegbildung und damit Erhöhung der Oberflächenqualität bei der Dekontamination zur erleichterten Freimessung. Hierfür wurden Versuchsreihen durchgeführt, bei der die entwickelten Werkzeuge verschiedene Winkel der Schrägstellung zur Vorschubrichtung hatten. Nach der anschließenden Auswertung der Ergebnisse konnte hierbei ein Vergleich gezogen und ein für das Projekt optimaler Schrägstellungswinkel ausfindig gemacht werden. Auf Grundlage dieses Winkels werden weitere Konstruktionen in AP 5 durchgeführt. Weitere erforderliche Versuche werden nach Bedarf parallel durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP 5: Optimierung der Versuchsmuster und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung

Bis Ende Juli 2025 soll Arbeitspaket 5 „Optimierung der Versuchsmuster und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung“ abgeschlossen und der Meilenstein erreicht werden. Hierfür müssen zum 01. August 2025 die weiterentwickelten Demonstratoren für den Praxistest vor Ort einsatzbereit sein. Die Optimierung der Versuchsmuster und die Konstruktion ei-

ner Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung befindet sich bereits in der Durchführung. Momentan werden hierfür CAD-Konstruktionszeichnungen angefertigt bei denen eine stufenweise verstellbare Tiefenführung in das Gehäuse integriert ist. Versuchsweise werden zwei unterschiedliche Varianten für die Federrückstellung der Tiefenführung ausgearbeitet. Die bevorzugte Variante wird mit einer innenliegenden Blattfeder realisiert, alternativ kann mit der zweiten Variante einer außenliegenden Spiralfeder die Rückstellung gewährleistet werden. Die Federrückstellung ermöglicht die staubfreie Bearbeitung.

Die Anschlussstelle für die Absaugung des entstehenden Betonstaubs wird an einer neuen, Strömungsmechanisch günstigeren Position angebracht. Die Schrägstellung zur Minimierung der Restbetonestegbildung soll konstruktionstechnisch gelöst werden und nachfolgend als reales Testwerkzeug hergestellt und untersucht werden.

Geplant sind Veröffentlichungen auf der BAUMA 2025 sowie auf der KONTEC 2025.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- ATW Journal, Magazinbeitrag: Best Presentation Award 2nd: Development of a decontamination tool for inner edges and corners (EKONT-2), 01.09.2024, www.kernd.de
- Kerntechnik Fachtagung 2024, Plenarvortrag „DEVELOPMENT OF A DECONTAMINATION TOOL FOR INNER EDGES AND CORNERS (EKONT-2)“, 11.06. – 13.06.2024, Leipzig
- FORKA Statusseminar, Präsentation „Projektvorstellung EKONT-2, Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen“, 09.04. – 11.04.2024
- 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: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 Innenkanten-dekontamination in kerntechnischen Anlagen, TP: Durchführung experimenteller Versuch und Auswertung der Versuchsmuster (EKONT-2)		
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 Rückbauunternehmen 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 3: Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand

Es wurde eine neuartige Werkzeugaufnahme konstruiert, gebaut und erprobt zur Zusammenführung von Testwerkzeug und Versuchsstand, da sich die Geometrie des Trägergeräts zum ursprünglichen Werkzeug verändert hatte. Diese neue Werkzeugaufnahme ermöglichte unter anderem die Untersuchung von verschiedenen Winkeln zur Schrägstellung der Diamantscheiben inklusive Werkzeug und Einhausung. Aus diesem Grund wurde ein Greifsystem um das Werkzeug konstruiert, anschließend gefertigt und erprobt. Das Greifsystem dient zur Fixierung des Werkzeugs und wird über zwei L-Auflager mit der Lineareinheit und der Kraftmessdose verbunden. In die L-Auflager wird hierfür jeweils eine Schwalbenschwanznut als Führung eingefräst. Die verschiedenen Winkel zum Betonabtrag in Vorschubrichtung sollen über ein gebogenes Langloch sowie einen Drehpunkt erreicht werden. Das Arbeitspaket wurde wie geplant größtenteils im ersten Halbjahr 2024 durchgeführt und wurde erfolgreich Ende Juli 2024 beendet.

AP 4: Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse

Bei den experimentellen Versuchsreihen lag der Fokus auf der Schrägstellung der Diamantscheiben zur Verringerung der Restbetonstegbildung und damit Erhöhung der Oberflächenqualität bei der Dekontamination zur erleichterten Freimessung. Hierfür wurden Versuchsreihen durchgeführt, bei der die entwickelten Werkzeuge verschiedene Winkel der Schrägstellung zur Vorschubrichtung hatten. Nach der anschließenden Auswertung der Ergebnisse konnte hierbei ein Vergleich gezogen werden und ein für das Projekt optimaler Schrägstellungswinkel ausfindig gemacht werden. Auf Grundlage dieses Winkels werden weitere Konstruktionen in AP 5 durchgeführt. Weitere erforderliche Versuche werden nach Bedarf parallel durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP 5: Bis Ende Juli 2025 soll Arbeitspaket 5 „Optimierung der Versuchsmuster und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung“ abgeschlossen und der Meilenstein erreicht werden. Die Optimierung der Versuchsmuster und die Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung befindet sich bereits in der Durchführung. Momentan werden hierfür CAD-Konstruktionszeichnungen angefertigt, bei denen eine verstellbare Tiefenführung in das Gehäuse eingelassen ist. Die Anschlussstelle für die Absaugung des entstehenden Betonstaubs

wird an einer neuen Position angebracht, diese soll strömungsmechanisch günstiger liegen. Die Schrägstellung zur Minimierung der Restbetonstegbildung soll konstruktionstechnisch gelöst werden und nachfolgend als reales Testwerkzeug hergestellt und untersucht werden. Geplant sind Veröffentlichungen auf der BAUMA 2025 sowie auf der KONTEC 2025.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- ATW Journal, Magazinbeitrag: Best Presentation Award 2nd: Development of a decontamination tool for inner edges and corners (EKONT-2), 01.09.2024, www.kernd.de
- Kerntechnik Fachtagung 2024, Plenarvortrag „DEVELOPMENT OF A DECONTAMINATION TOOL FOR INNER EDGES AND CORNERS (EKONT-2)“, 11.06. – 13.06.2024, Leipzig
- FORKA Statusseminar, Präsentation „Projektvorstellung EKONT-2, Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen“, 09.04. – 11.04.2024
- 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: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9440C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Contec GmbH, Hauptstraße 146, 57518 Alsdorf		
Vorhabenbezeichnung: VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkanten-dekontamination 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: 118.107,87 €
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 3: Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand

Es wurde eine neuartige Werkzeugaufnahme konstruiert, gebaut und erprobt zur Zusammenführung von Testwerkzeug und Versuchsstand, da sich die Geometrie des Trägergeräts zum ursprünglichen Werkzeug verändert hatte. Diese neue Werkzeugaufnahme ermöglichte unter anderem die Untersuchung von verschiedenen Winkeln zur Schrägstellung der Diamantscheiben inklusive Werkzeug und Einhausung. Aus diesem Grund wurde ein Greifsystem um das Werkzeug konstruiert, anschließend gefertigt und erprobt. Das Greifsystem dient zur Fixierung des Werkzeugs und wird über zwei L-Auflager mit der Lineareinheit und der Kraftmessdose verbunden. In die L-Auflager wird hierfür jeweils eine Schwalbenschwanznut als Führung eingefräst. Die verschiedenen Winkel zum Betonabtrag in Vorschubrichtung sollen über ein gebogenes Langloch sowie einen Drehpunkt erreicht werden. Das Arbeitspaket wurde wie geplant größtenteils im ersten Halbjahr 2024 durchgeführt und wurde erfolgreich Ende Juli 2024 beendet. Contec war an der Fertigung diverser Bauteile maßgeblich beteiligt.

AP 4: Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse

Bei den experimentellen Versuchsreihen lag der Fokus auf der Schrägstellung der Diamantscheiben zur Verringerung der Restbetonstegbildung und damit Erhöhung der Oberflächenqualität bei der Dekontamination zur erleichterten Freimessung. Hierfür wurden Versuchsreihen durchgeführt, bei der die entwickelten Werkzeuge verschiedene Winkel der Schrägstellung zur Vorschubrichtung hatten. Nach der anschließenden Auswertung der Ergebnisse konnte hierbei ein Vergleich gezogen werden und ein für das Projekt optimaler Schrägstellungswinkel ausfindig gemacht werden. Auf Grundlage dieses Winkels werden weitere Konstruktionen in AP 5 durchgeführt. Weitere erforderliche Versuche werden nach Bedarf parallel durchgeführt. Contec war offiziell laut Zeitplan nicht am AP 4 beteiligt. Natürlich gab es immer wieder Konsultationen und Beratungsgespräche.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP 5: Bis Ende Juli 2025 soll Arbeitspaket 5 „Optimierung der Versuchsmuster und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung“ abgeschlossen und der Meilenstein erreicht werden. Die Optimierung der Versuchsmuster und die Konstruktion einer Einhausung mit Absau-

gung und Tiefenführung befindet sich bereits in der Durchführung. Momentan werden hierfür CAD-Konstruktionszeichnungen angefertigt, bei denen eine verstellbare Tiefenführung in das Gehäuse eingelassen ist. Die Anschlussstelle für die Absaugung des entstehenden Betonstaubs wird an einer neuen Position angebracht, diese soll strömungsmechanisch günstiger liegen. Die Schrägstellung zur Minimierung der Restbetonstegbildung soll konstruktionstechnisch gelöst werden und nachfolgend als reales Testwerkzeug hergestellt und untersucht werden.

Geplant sind Veröffentlichungen auf der BAUMA 2025 auf dem Messestand der Firma Contec sowie auf der KONTEC 2025.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- ATW Journal, Magazinbeitrag: Best Presentation Award 2nd: Development of a decontamination tool for inner edges and corners (EKONT-2), 01.09.2024, www.kernd.de
- Kerntechnik Fachtagung 2024, Plenarvortrag „DEVELOPMENT OF A DECONTAMINATION TOOL FOR INNER EDGES AND CORNERS (EKONT-2)“, 11.06. – 13.06.2024, Leipzig
- FORKA Statusseminar, Präsentation „Projektvorstellung EKONT-2, Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen“, 09.04. – 11.04.2024
- 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: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9440D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: SPIE SAT GmbH		
Vorhabenbezeichnung: VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkanten-dekontamination in kerntechnischen Anlagen, TP: Praxisversuche und Verifizierung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 54.059,05
Projektleiter/-in: Stefan Stemmler		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Stefan.stemmler@spie-isw.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 3: Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand

Seitens SAT erfolgte eine Zuarbeit und Beratung aus der Anwendersicht. Insbesondere regelmäßiger Austausch mit Contec bezüglich der überarbeiteten Frässcheiben (Gewichtsreduktion) und der Werkzeugaufnahme.

Bezogen auf den Versuchsstand erfolgte eine Beratung hinsichtlich Arbeitssicherheit und Gefährdungsbeurteilung (Lärm, Staub, Absaugung, Vibrationen).

Am 17.07.24 fand das zweite Projekttreffen 2024 in der Hochschule Konstanz statt, wo bereits die ersten experimentellen Ergebnisse vorgestellt und diskutiert wurden.

Das Arbeitspaket 3 wurde wie geplant größtenteils im ersten Halbjahr 2024 durchgeführt und Ende Juli 2024 erfolgreich abgeschlossen.

AP 4: Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse

Bei den experimentellen Versuchsreihen lag der Fokus auf der Schrägstellung der Diamantscheiben zur Verringerung der Restbetonstegbildung und damit Erhöhung der Oberflächenqualität bei der Dekontamination zur erleichterten Freimessung. Hierfür wurden Versuchsreihen durchgeführt, bei der die entwickelten Werkzeuge verschiedene Winkel der Schrägstellung zur Vorschubrichtung hatten. Nach der anschließenden Auswertung der Ergebnisse konnte hierbei ein Vergleich gezogen werden und ein für das Projekt optimaler Schrägstellungswinkel ausfindig gemacht werden. Auf Grundlage dieses Winkels werden weitere Konstruktionen in AP 5 durchgeführt. Weitere erforderliche Versuche werden nach Bedarf parallel durchgeführt.

Seitens SAT war während der Durchführung von AP4 recht wenig Zuarbeit erforderlich. Ein Thema war die Tiefeneinstellung an der Abdeckung (Abstufungen und max. Tiefe), was im AP5 konstruktiv und praktisch umgesetzt wird. Ansonsten erfolgte der regelmäßige, bilaterale Austausch mit den Projektpartnern.

Dazu gehörte auch die Vor- und Nachbereitung der Messe ICOND in Aachen (19.-21.11.24), wo Gebäudedekontamination und entsprechende Frästechniken immer wichtige Themen sind.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 5: Optimierung der Versuchsmuster und Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung

Bis Ende Juli 2025 soll Arbeitspaket 5 abgeschlossen und der Meilenstein erreicht werden. Die Optimierung der Versuchsmuster und die Konstruktion einer Einhausung mit Absaugung und Tiefenführung befindet sich bereits in der Durchführung. Momentan werden hierfür CAD-Konstruktionszeichnungen angefertigt, bei denen eine verstellbare Tiefenführung in das Gehäuse eingelassen ist.

Die Anschlussstelle für die Absaugung des entstehenden Betonstaubs wird an einer neuen Position angebracht, diese soll strömungsmechanisch günstiger liegen. Die Schrägstellung zur Minimierung der Restbetonstegbildung soll konstruktionstechnisch gelöst werden und nachfolgend als reales Testwerkzeug hergestellt und untersucht werden.

SAT wird sich auch im AP5 regelmäßig einbringen und mit den Projektpartnern austauschen. Am 15.01.25 findet das nächste Projekttreffen im KIT statt, inkl. Besuch des Versuchsstandes.

Parallel zu AP 5 müssen bereits die Praxisversuche (AP6) vorbereitet und es müssen die Randbedingungen mit dem Kunden EnBW besprochen werden.

Geplant sind des weiteren Veröffentlichungen auf der BAUMA 2025 und der KONTEC 2025. Die SAT wird auf der KONTEC 2025 erneut als Aussteller vertreten sein und das Thema Gebäudedekontamination thematisieren, gerade auch mit Bezug auf EKONT. Das Abstract ist bereits in Vorbereitung und wurde inhaltlich von der SAT überprüft.

AP 6: Versuche vor Ort

Ab August 2025 sollen dann die „Versuche vor Ort“ stattfinden. Diese Praxisversuche unter echten Anwendungsbedingungen sind aus Sicht der SAT der Schwerpunkt. Die Durchführung der Praxisversuche erfolgt im Kernkraftwerk Obrigheim (KWO), wo SAT seit 2021 mit einem Team von durchschnittlich 10 Mitarbeitern vor Ort ist und alle Aufgaben der Gebäudedekontamination durchführt. Bisher war das Abfräsen der Dekontbeschichtung einer der Schwerpunkte. In 2025 liegt der Fokus aber verstärkt auf dem Abtrag von kontaminierten Betonoberflächen, was perfekt zum Zeitplan unseres Projektes EKONT2 passt.

Ein weiteres Zielprojekt für die Anwendung der EKONT2-Frästechnik ist im Kernkraftwerk Isar (KKI1), wo die SAT ab November 2025 zunächst die Beckenverkleidung demontiert und anschließend Dekontarbeiten an der darunterliegenden Betonstruktur vornimmt. Auch hier laufen bereits Vorgespräche mit dem Kunden PEL.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- ATW Journal, Magazinbeitrag: Best Presentation Award 2nd: Development of a decontamination tool for inner edges and corners (EKONT-2), 01.09.2024, www.kernd.de
- Kerntechnik Fachtagung 2024, Plenarvortrag „DEVELOPMENT OF A DECONTAMINATION TOOL FOR INNER EDGES AND CORNERS (EKONT-2)“, 11.06. – 13.06.2024, Leipzig
- FORKA Statusseminar, Präsentation „Projektvorstellung EKONT-2, Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen“, 09.04. – 11.04.2024

- 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: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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, welches die bis zu 1,2 m tief im Stahlbeton liegenden Kunststoffrohre (8-15 cm Durchmesser; 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 abzubauen zu müssen, möglich wäre, falls eine Freigabe in Einbaulage nicht erteilt werden kann. Damit diese Ziele des Verbundvorhabens erreicht werden können, müssen Versuchstände aufgebaut und Untersuchungen zu Beprobungs- sowie Ausbauoptionen durchgeführt und analysiert werden. Ebenso muss ein qualitätsgesichertes Beprobungsverfahren entwickelt sowie 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 Ausbaupopf
- AP7: Experimentelle Versuchsreihen 2
- AP8: Konstruktion finaler Beprobungs- und Ausbaupopf 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)

Bearbeitet wurde AP3 - Konstruktion, Planung und Aufbau eines Versuchstandes. Da dieser Versuchstand unterschiedlichen Anforderungen standhalten muss und eine sehr hohe Flexibilität gefordert ist, waren die Arbeiten komplizierter und langwieriger als erwartet. Der Versuchstand wurde so konzipiert und gebaut, dass unterschiedliche Trennverfahren mit aller notwendiger Sensorik (Kräfte-, Hitzeentwicklung, Elektrostatische Aufladung, Anpressdruck, Lasermessungen) analysiert werden können. Zudem können alle Eingangsgrößen exakt und in einem breiten Bereich eingestellt werden. Daher war es nötig, als Antrieb für die Werkzeuge drei verschiedene Motoren (sehr breites Parameterspektrum) auszuwählen. Diese sind jedoch alle einfach am Versuchstand zu wechseln und sind auch direkt mit der verwendeten Elektronik und Sensorik kompatibel. Damit die unterschiedlichen Trennverfahren analysiert werden können, ist der Versuchstand so ausgelegt, dass sich das Werkstück in einem breiten Frequenzbereich drehen kann (hierfür war ein Motor mit austauschbaren Getrieben notwendig). Um Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Versuche zu gewährleisten, musste die Lineareinheit mit einem weiteren Motor verbaut werden. Allein die Steuerung dieser Lineareinheit über den weiteren Antriebsmotor erzeugte hohen, zusätzlichen Programmieraufwand. Ebenso wurden die Programmierung und Verschaltung der Datenerhebung und Sensorik durchgeführt. Der Versuchstand ist vollständig konstruiert und aufgebaut. Einzelne Teile und Elektronikkomponenten müssen noch nachbearbeitet und kalibriert werden, diese Arbeiten werden jedoch voraussichtlich im Januar 2025 abgeschlossen. Da bereits der Großteil der Programmierung, der Steuerung und Elektronik und der Versuchsplanung vorgezogen werden konnte, konnten bereits Aufgaben aus AP 5 (Experimentelle Versuchsreihen 1) erledigt werden. Durch die aufwändigere Bauweise des Versuchstandes wird zudem später innerhalb der Versuchsreihen Zeit beim Aufbau, der Justierung und Durchführung der Versuche eingespart. Nebenher wurde das bereits abgeschlossene AP2 um weitere Recherchen ergänzt und so das Lastenheft erweitert und aktualisiert. Dies soll weiterhin über die Länge des Projektes so gehandhabt werden, damit die Zielrichtung des Projektes immer an die neusten Erkenntnisse angepasst ist.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

In den nächsten Wochen soll der Aufbau des Versuchstandes finalisiert werden. Da die Programmierung schon sehr weit vorangeschritten ist, wird auch die Elektronik, sowie die Kalibrierung der Sensorik innerhalb der nächsten Wochen abgeschlossen werden. Danach werden die experimentellen Versuchsreihen von AP5 durchgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Für die KONTEC 2025 in Dresden wurde ein Abstract eingereicht. Geplant ist das Projekt im Rahmen eines KONTEC DIREKT Kurzvortrages zu präsentieren. Zudem erscheint in der Januar-Ausgabe der ATW ein Artikel über die im Forschungsprojekt RoTre angefertigte Dissertation. Hier wird ein Forschungsausblick gegeben und das Projekt Bero vorgestellt.

Berichtszeitraum: 01.08.2024 bis 31.12.2024		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: 124.698,50 €
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

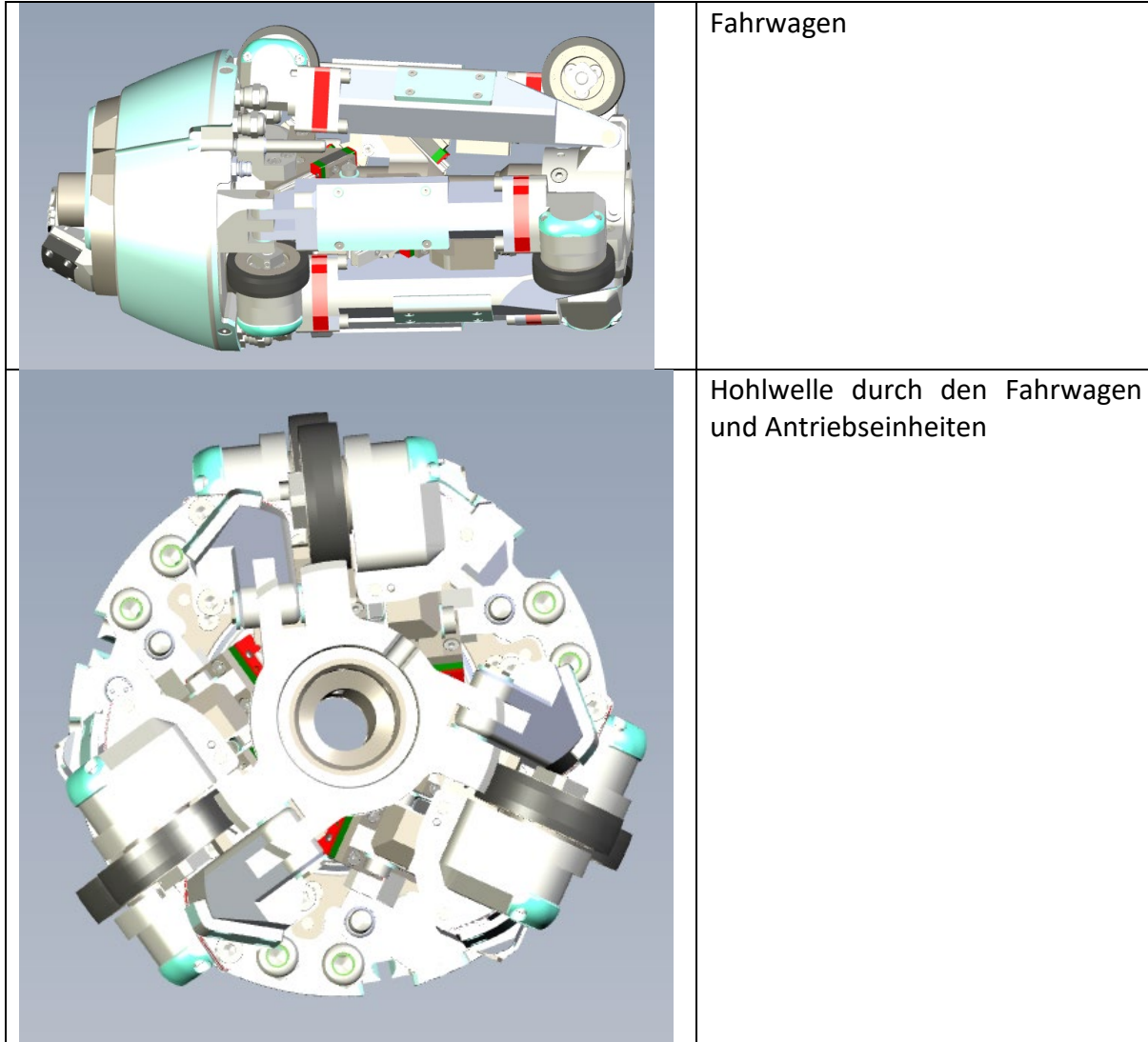
3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

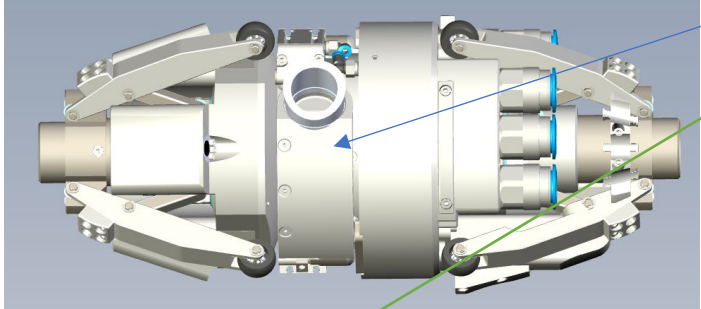
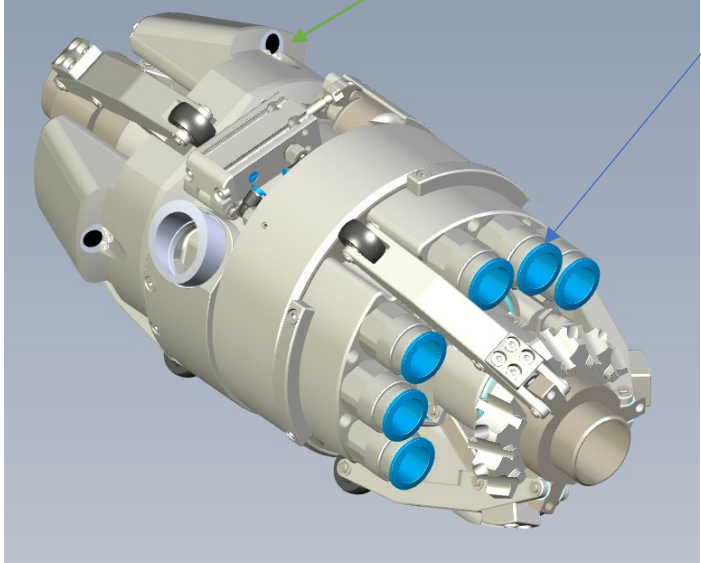
Ab August 2024 hat IBASS mit dem AP4 begonnen. Dafür wurde zuerst die Konzeption, Spezifikation und anschließend die CAD-Konstruktion durchgeführt. Diese Arbeiten laufen noch, da wir bei der 1. Konzeption feststellten, dass es von Vorteil wäre, zuerst den größeren Fahrwagen zu konstruieren, um daraus zu lernen. Der kleinere Fahrwagen (84 bis 130mm) ist technisch eine große Herausforderung, die es mittels einer späteren Miniaturisierung einfacher ist umzusetzen. Gleiches gilt für das Absaugmodul, das später für das Aufsammeln der Probestücke erforderlich ist.

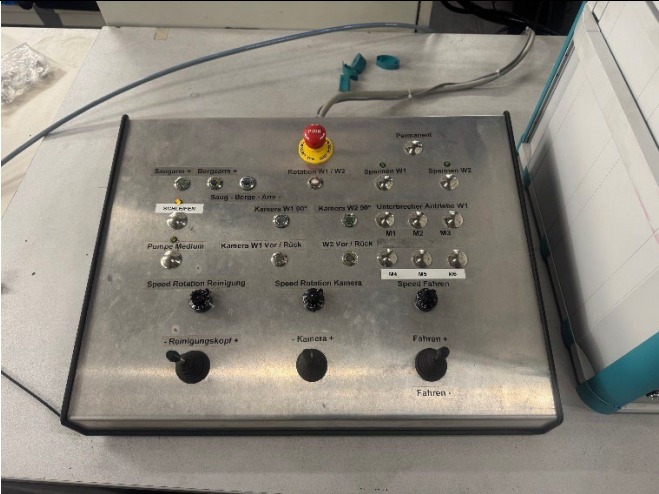
Man hat sich für einen Zug entschieden, der einerseits aus einem Fahrwagen und einem Absaugmodul besteht. Das Probenamemodul ist noch nicht ganz geklärt, hier wird entweder ein Fräsmodul direkt auf den Fahrwagen montiert oder als separates Modul zwischen dem Fahrwagen und dem Absaugmodul montiert. Somit fährt der Fahrwagen rückwärts in das Rohr ein und das letzte Modul kann als Absaugmodul mit einem größeren Schlauch versehen die Partikel absaugen.

Um das auch in der Praxis zu testen, hat IBASS einen Fahrwagen und eine Absaugmodul gefertigt, dass derzeit montiert wird.

Um bei der Steuerung sparen zu können hat man alte Gerätschaften aus dem KKW Gundremmingen erwerben können. Darunter eine Steuerungsanlage und eine Hochleistungs-Absauganlage von Camfil die ideal für den Verwendungszweck eisetzbar ist.



Absaugmodul	
	2x Absaugarme 3 x HD-Kameras
	Absauganschlüsse 6 x 12mm Festo Schläuche

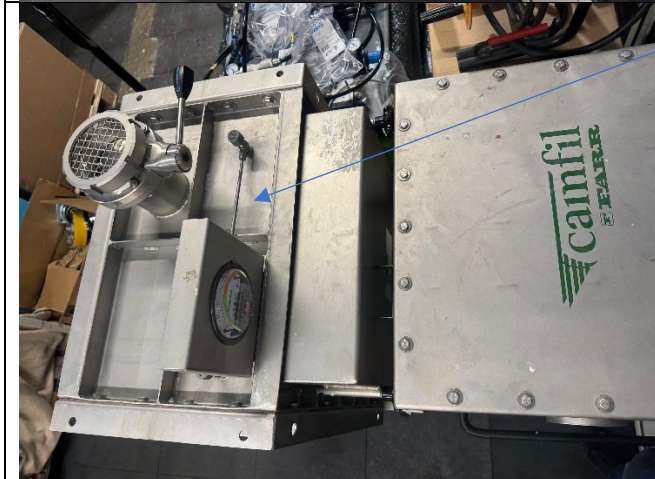
Steuerung 	Steuerpult
	Pneumatische und elektrische Steuerungseinheit
Absauganlage 	15kW Seitenkanalverdichter



Filteranlage mit Abscheider



Feststoffabscheider



HEPA-Filteranlage

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP6: Nach der Montage der Bauteile werden die Gerätschaften getestet und in der Zwischenzeit werden wir an der Weiterentwicklung des kleineren Roboters arbeiten.



Schneckenradgetriebe mit Antriebsmotoren und Gehäuse



Zentrale Hohlwelle mit Aufnahme und E-Verteilerring.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Derzeit stehen dazu von Seiten IBASS keine Aktivitäten an.

Berichtszeitraum: 01.10.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9449A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Werkstoffkunde		
Vorhabenbezeichnung: VP: Automatisierte Vorschubregelung bei der Elektrokontaktbearbeitung unter Wasser durch Auswertung und Nutzung der Lichtbogenparameter mittels KI-Methoden, TP: Prozessautomatisierung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2024 bis 30.09.2027	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.323.877,02 €	
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Thomas Hassel	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hassel@iw.uni-hannover.de	

1. Zielsetzung des Vorhabens

Eine Herausforderung beim Rückbau kerntechnischer Anlagen besteht darin, metallische Strukturen wie den Reaktordruckbehälter mit Wandstärken von mehr als 100 mm zu trennen. Dabei können Konstellationen auftreten, bei denen mehrere Materialien schichtweise aneinander liegen, beispielsweise aufgrund von inneren Plattierungen. Vor diesem Hintergrund werden für die anstehenden Rückbauprojekte in Deutschland und langfristig auch international sichere und robuste Technologien zum Trennen benötigt. In diesem Kontext sind thermische Trennverfahren äußerst vielversprechend, da sie mit geringen Rückstellkräften arbeiten und die geforderten Wandstärken sicher und schnell durchtrennen können. Das Ziel dieses Projekts ist die Automatisierung des Vorschubprozesses der lichtbogenbasierten Elektrokontaktbearbeitung unter Wasser in den Verfahrensvarianten Contact Arc Metal Grinding (CAMG) und Contact Arc Metal Cutting (CAMC). Ein Mitarbeiter bewegt dabei das Werkzeug manuell am Beckenrand mithilfe einer Halterung, die in solchen Anwendungsfällen üblicherweise bis zu 15 m tief ins Wasser ragt. Die Position, Kinematik und der Vorschub im Prozess hängen daher von der Qualifikation, Geschicklichkeit und Erfahrung des Bedieners sowie von den Möglichkeiten einer visuellen Prozessbeobachtung ab. Diese Vorgehensweise birgt große Risiken, insbesondere wenn der Lichtbogenbereich schlecht einsehbar ist, die Einschätzung des Bedieners nicht korrekt erfolgt ist oder andere unvorhergesehene Umstände (Kurzschlusskontakt, Klemmen der Elektrode etc.) auftreten. Eine zentrale Maßnahme zur Minimierung solcher Risiken besteht in der in situ Prozessüberwachung mittels geeigneter Prozesssignale und einer entsprechenden Reaktion auf die jeweilige Prozesssituation. In diesem Zusammenhang können bei lichtbogenbasierten Fertigungsverfahren die Strom- und Spannungssignale im Prozess aufgezeichnet und analysiert werden. Dies ist für die zu untersuchenden Verfahren CAMG und CAMC ebenfalls möglich. Dieses Projekt zielt darauf ab, diese relevanten Daten zu generieren, zu interpretieren, nutzbar zu machen und im letzten Schritt vor dem Hintergrund der lichtbogenphysikalischen Zusammenhänge in ein Regelsignal für den automatisierten Vorschub beider Prozesse zu überführen. Dabei gibt es zwei Schwerpunkte. Zum einen die hochfrequenten Veränderungen der Signale, die Rückschlüsse auf die Ausbildung der Lichtbögen und damit auf die Prozessstabilität zulassen. Zum anderen kann bei einer langfristigen Betrachtung der Strom- und Spannungsverläufe eine Aussage über den Grad des Elektrodenverschleißes getroffen werden.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Durchführung des Projekts ist in vier Komplexe unterteilt. Komplex A fokussiert sich auf zentrale Aufgaben, die in enger Zusammenarbeit der beteiligten Partner bearbeitet werden. Dazu gehört unter anderem die Anlagentechnik, insbesondere bestehend aus Wasserbecken, Führungsmaschine und Stromquelle. Zusätzlich werden weitere Mock-ups entwickelt, die reale Anwendungsfälle simulieren. Der zweite Abschnitt von Komplex A behandelt die Erfassung und Verarbeitung von Prozessdaten, wobei der Schwerpunkt auf dem Algorithmus und der Steuerung liegt.

Die Bereiche B und C widmen sich der verfahrensspezifischen Auslegung und Untersuchung der Schneidprozesse CAMG und CAMC. Hierbei stehen die unterschiedlichen Prozessmerkmale im Vordergrund. Der abschließende Bereich D bündelt alle zuvor bearbeiteten Aufgaben, um die Ergebnisse für die Dokumentation aufzubereiten. Dieser Bereich stellt entscheidende Informationen zur Sicherstellung der Genehmigungsfähigkeit der Anlagentechnik und der damit verbundenen intelligenten Regelung bereit.

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

- Im Rahmen des Arbeitspakets A/1 wurden die Planungen für das Wasserbecken und die Manipulatoreinheit initiiert. Dazu wurde ein Pflichten- und Lastenheft für alle Anlagenkomponenten erstellt. Anschließend wurden Gespräche mit verschiedenen Unternehmen geführt. Für die beteiligten Firmen und Zulieferer war es besonders wichtig, grundlegende Absprachen zu treffen, beispielsweise hinsichtlich der verwendeten Netzwerktechnik, des Aufbaus des Schaltschranks oder der verbindenden Elemente. Diese Schritte sind entscheidend dafür, dass am Ende alle Komponenten nahtlos zusammenpassen und einwandfrei funktionieren.
- Im Rahmen von Arbeitspaket A/6 wurde der Entwicklungsprozess des Algorithmus gestartet. Bevor jedoch die eigentliche Programmierung beginnen kann, müssen grundlegende Aufgaben erledigt werden. Dazu gehören die Problemdefinition und die Anforderungsanalyse, welche den genauen Umfang des Codes sowie die Eingaben und Ausgaben des Algorithmus umfassen.
- Im Austausch mit dem Projektpartner KSV (Arbeitspaket A/2) wurden detaillierte, prozessspezifische Anforderungen an die Stromquelle ausgetauscht und diskutiert. Ziel dieser Abstimmung war es, eine solide Grundlage für die nachfolgende Planungsphase im Haus des Partners zu schaffen.
- Für die Erstellung des Lastenheftes für den zukünftigen Manipulator in der Zerlegehalle wurden initiale Diskussionen initiiert. In diesen Gesprächen ging es darum, grundlegende Anforderungen und Spezifikationen für den Manipulator zu definieren. Dabei wurde besonderer Wert darauf gelegt, die spezifischen operationalen Bedürfnisse der Zerlegehalle zu berücksichtigen und sicherzustellen, dass der Manipulator optimal in bestehende Prozesse integriert werden kann. Diese ersten Diskussionsrunden sind essenziell, um die Erwartungen aller Stakeholder zu klären und eine klare Grundlage für die weitere Entwicklung des Lastenheftes zu schaffen. Durch die frühzeitige Identifikation von Schlüsselanforderungen und möglichen Herausforderungen wird der Weg für eine effiziente und zielgerichtete Planung und Umsetzung des Projektes geebnet.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

- Die Absprachen in Arbeitspaket A/1 zwischen allen beteiligten Akteuren sind kontinuierlich fortzuführen und weiter zu intensivieren, um ein fundiertes und umfassendes Konzept für die Anlagentechnik zu entwickeln. Dies erfordert regelmäßige Meetings und offene Kommunikationskanäle, um Ideen auszutauschen, Fortschritte zu koordinieren und eventuelle Herausforderungen frühzeitig zu adressieren. Durch die Förderung eines kollaborativen Umfelds und das Einbeziehen von Feedback aus den verschiedenen Fachbereichen können unterschiedliche Perspektiven berücksichtigt und innovative Lösungen erarbeitet werden. Ziel ist es, eine nahtlose Integration aller Systemkomponenten zu gewährleisten und ein effizientes, nachhaltiges und zukunftssicheres Anlagentechnikkonzept zu etablieren, das den Anforderungen und Erwartungen aller Beteiligten gerecht wird.
- Um die Integrationsfähigkeit der beiden Schneidtechnologien in den Arbeitspaketen B/2 und C/1 sicherzustellen, müssen die spezifischen Integrationsmerkmale beider Technologien sorgfältig berücksichtigt werden. Diese Merkmale sollten sowohl im Planungs- als auch im Gestaltungsprozess der Anlage integriert werden. Dazu gehört eine umfassende Analyse der technischen Anforderungen jeder Schneidtechnologie sowie deren Kompatibilität mit bestehenden Systemkomponenten. Es ist erforderlich, potenzielle Schnittstellen und notwendige Anpassungen frühzeitig zu identifizieren, um einen reibungslosen Übergang und eine effiziente Zusammenarbeit der Technologien zu ermöglichen. Durch eine gründliche Evaluierung und gezielte Abstimmung können Synergien genutzt und eventuelle Konflikte vermieden werden.
- Für die Erarbeitung eines komplexen Codes in Arbeitspaket A/6 werden weitere vorbereitende Schritte durchgeführt. Dazu zählen insbesondere die Informationssammlung, welche Konzepte bereits für ähnliche Problematiken bestehen, welche Bibliotheken in Python hilfreich sein können. Danach müssen formale Spezifikationen des Algorithmus aufgeschrieben werden. Dies kann bspw. in einer Art Pseudocode oder ein detailliertes Flussdiagramm visualisiert werden. Danach müssen die einzelnen Herausforderungen des Codes in kleinere, handhabbare Teilprobleme zerlegt werden, um diese programmieren zu können.
- Die Diskussionen über den Manipulator werden kontinuierlich fortgesetzt, um sicherzustellen, dass alle relevanten Anforderungen und technischen Spezifikationen im Detail erfasst werden. Im Rahmen dieser Gespräche werden sowohl Fortschritte als auch neue Erkenntnisse regelmäßig geprüft und integriert. Der fortlaufende Dialog ermöglicht es, auftretende Fragen zeitnah zu klären, unterschiedliche Perspektiven zu berücksichtigen und innovative Lösungsansätze zu entwickeln. Ziel ist es, ein umfassendes und präzises Lastenheft zu erstellen, das den komplexen Anforderungen der Zerlegehalle gerecht wird und eine erfolgreiche Implementierung des Manipulators gewährleistet.

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: 01.10.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9449B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH		
Vorhabenbezeichnung: VP: Automatisierte Vorschubregelung bei der Elektrokontaktbearbeitung unter Wasser durch Auswertung und Nutzung der Lichtbogenparameter mittels KI-Methoden, TP: Prozessoptimierung für die Zerlegung von Großkomponenten (AutArc)		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2024 bis 30.09.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 130.627,52 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Ing. (FH) Torsten Wollermann		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: torsten.wollermann@ewn-gmbh.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Eine Herausforderung beim Rückbau kerntechnischer Anlagen besteht darin, metallische Strukturen wie den Reaktordruckbehälter mit Wandstärken von mehr als 100 mm zu trennen. Dabei können Konstellationen auftreten, bei denen mehrere Materialien schichtweise aneinander liegen, beispielsweise aufgrund von inneren Plattierungen. Vor diesem Hintergrund werden für die anstehenden Rückbauprojekte in Deutschland und langfristig auch international sichere und robuste Technologien zum Trennen benötigt. In diesem Kontext sind thermische Trennverfahren äußerst vielversprechend, da sie mit geringen Rückstellkräften arbeiten und die geforderten Wandstärken sicher und schnell durchtrennen können. Das Ziel dieses Projekts ist die Automatisierung des Vorschubprozesses der lichtbogenbasierten Elektrokontaktbearbeitung unter Wasser in den Verfahrensvarianten Contact Arc Metal Grinding (CAMG) und Contact Arc Metal Cutting (CAMC). Ein Mitarbeiter bewegt dabei das Werkzeug manuell am Beckenrand mithilfe einer Halterung, die in solchen Anwendungsfällen üblicherweise bis zu 15 m tief ins Wasser ragt. Die Position, Kinematik und der Vorschub im Prozess hängen daher von der Qualifikation, Geschicklichkeit und Erfahrung des Bedieners sowie von den Möglichkeiten einer visuellen Prozessbeobachtung ab. Diese Vorgehensweise birgt große Risiken, insbesondere wenn der Lichtbogenbereich schlecht einsehbar ist, die Einschätzung des Bedieners nicht korrekt erfolgt ist oder andere unvorhergesehene Umstände (Kurzschlusskontakt, Klemmen der Elektrode etc.) auftreten. Eine zentrale Maßnahme zur Minimierung solcher Risiken besteht in der in situ Prozessüberwachung mittels geeigneter Prozesssignale und einer entsprechenden Reaktion auf die jeweilige Prozesssituation. In diesem Zusammenhang können bei lichtbogenbasierten Fertigungsverfahren die Strom- und Spannungssignale im Prozess aufgezeichnet und analysiert werden. Dies ist für die zu untersuchenden Verfahren CAMG und CAMC ebenfalls möglich. Dieses Projekt zielt darauf ab, diese relevanten Daten zu generieren, zu interpretieren, nutzbar zu machen und im letzten Schritt vor dem Hintergrund der lichtbogenphysikalischen Zusammenhänge in ein Regelsignal für den automatisierten Vorschub beider Prozesse zu überführen. Dabei gibt es zwei Schwerpunkte. Zum einen die hochfrequenten Veränderungen der Signale, die Rückschlüsse auf die Ausbildung der Lichtbögen und damit auf die Prozessstabilität zulassen. Zum anderen kann bei einer langfristigen Betrachtung der Strom- und Spannungsverläufe eine Aussage über den Grad des Elektrodenverschleißes getroffen werden.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Die Durchführung des Projekts ist in vier Komplexe unterteilt. Komplex A fokussiert sich auf zentrale Aufgaben, die in enger Zusammenarbeit der beteiligten Partner bearbeitet werden. Dazu gehört unter anderem die Anlagentechnik, insbesondere bestehend aus Wasserbecken, Führungsmaschine und Stromquelle. Zusätzlich werden weitere Mock-ups entwickelt, die reale Anwendungsfälle simulieren. Der zweite Abschnitt von Komplex A behandelt die Erfassung und Verarbeitung von Prozessdaten, wobei der Schwerpunkt auf dem Algorithmus und der Steuerung liegt.

Die Bereiche B und C widmen sich der verfahrensspezifischen Auslegung und Untersuchung der Schneidprozesse CAMG und CAMC. Hierbei stehen die unterschiedlichen Prozessmerkmale im Vordergrund. Der abschließende Bereich D bündelt alle zuvor bearbeiteten Aufgaben, um die Ergebnisse für die Dokumentation aufzubereiten. Dieser Bereich stellt entscheidende Informationen zur Sicherstellung der Genehmigungsfähigkeit der Anlagentechnik und der damit verbundenen intelligenten Regelung bereit.

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

- Im Rahmen des Arbeitspakets A/1 wurden die Planungsansätze in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner dem Unterwassertechnikum Hannover (UWTH) für die Auslegung bzw. Ausführung des Wasserbeckens und der Manipulatoreinheit initiiert. Dazu wurde ein Teilumfang des Pflichten- und Lastenheftes für alle Anlagenkomponenten erstellt, um mit den beteiligten Firmen und Zulieferern grundlegende Anforderungen zu definieren bzw. in Absprache wichtige technische Aspekte festzulegen, um beispielsweise Vorgaben hinsichtlich der verwendeten Netzwerktechnik, des Aufbaus des Schaltschranks oder der verbindenden Elemente zu vermitteln.
- In projektbezogener Zusammenarbeit zur Erstellung des Lastenheftes des planbaren Manipulators in der Zerlegehalle wurden initiale Diskussionen initiiert. In diesen Gesprächen ging es darum, grundlegende Anforderungen und Spezifikationen für den Manipulator zu definieren. Dabei wurden die spezifischen sowie operationalen Bedürfnisse der Zerlegehalle berücksichtigt, um sicherzustellen, dass der Manipulator optimal in bestehende Prozesse integriert werden kann. Diese ersten Diskussionsrunden sind essenziell, um die Erwartungen aller Stakeholder zu klären und eine klare Grundlage für die weitere Entwicklung des Lastenheftes zu schaffen. Durch die frühzeitige Identifikation von Schlüsselanforderungen und möglichen Herausforderungen wird der Weg für eine effiziente und zielgerichtete Planung und Umsetzung des Projektes geebnet.
- Vorbetrachtung und Vorplanungen zur weiteren Initialisierung von Mock-ups gemäß den anlagenspezifischen Reaktorkomponenten (wie z. B. Reaktoreinbauten OKG, UKG usw.) zur Simulation der realen Schneidgeometrie im fernbedienten/fernhandierten Einsatzfall.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

- Alle weiteren Themen werden im Rahmen des Arbeitspakets A/1 zwischen allen beteiligten Akteuren (Projektpartnern) kontinuierlich fortgeführt und weiter intensiviert, um ein fundiertes und umfassendes Konzept für die Anlagentechnik zu entwickeln. Dies erfordert regelmäßige Meetings und offene Kommunikationskanäle, um Ideen auszutauschen, Fortschritte zu koordinieren und eventuelle Herausforderungen frühzeitig zu adressieren. Durch die Förderung eines kollaborativen Umfelds und das Einbeziehen von Feedback aus den verschiedenen Fachbereichen können unterschiedliche Perspektiven berücksichtigt und innova-

tive Lösungen erarbeitet werden. Ziel ist es, eine nahtlose Integration aller Systemkomponenten zu gewährleisten und ein effizientes, nachhaltiges und zukunftsicheres Anlagen-technikkonzept zu etablieren, das den Anforderungen und Erwartungen aller Beteiligten gerecht wird.

- Die Diskussionen über den Manipulator werden kontinuierlich fortgesetzt, um sicherzustellen, dass alle relevanten Anforderungen und technischen Spezifikationen im Detail erfasst werden. Im Rahmen dieser Gespräche werden sowohl Fortschritte als auch neue Erkenntnisse regelmäßig geprüft und integriert. Der fortlaufende Dialog ermöglicht es, auftretende Fragen zeitnah zu klären, unterschiedliche Perspektiven zu berücksichtigen und innovative Lösungsansätze zu entwickeln. Ziel ist es, ein umfassendes und präzises Lastenheft zu erstellen, das den komplexen Anforderungen der Zerlegehalle gerecht wird und eine erfolgreiche Implementierung des Manipulators gewährleistet.

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: 01.10.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9449C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Kjellberg Finsterwalde Schweißtechnik und Verschleißschutzsysteme GmbH		
Vorhabenbezeichnung: VP: Automatisierte Vorschubregelung bei der Elektrokontaktbearbeitung unter Wasser durch Auswertung und Nutzung der Lichtbogenparameter mittels KI-Methoden, TP: Inverterstromquelle		
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2024 bis 30.09.2028		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 168.648,02 €
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Michael Schnick		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: m.schnick@kjellberg.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Als eines der führenden Unternehmen im Bereich der thermischen Materialbearbeitung verfügen wir über das erforderliche Know-how für lichtbogenbasierte Schweiß- und Schneidverfahren sowie deren Anlagentechnik. Eine unserer Kompetenzen ist dabei die Entwicklung und Herstellung von kundenspezifischen Stromquellen zur Energieversorgung der Prozesse. Wir entwickeln begleitend zu den Arbeiten des Instituts für Werkstoffkunde diesen Teil der CAMG- und CAMC-Prozesse weiter. Im Gegensatz zu einem Schweißverfahren, bei dem im Idealfall ein möglichst konstanter Lichtbogen über eine gewisse Zeit aufrechterhalten wird, entstehen bei den hier genutzten thermischen Trennverfahren eine hohe Anzahl an Lichtbögen sowie Lichtbogenabrisse und Kurzschlüsse durch die Bewegung der Schneidelektroden. Dies erhöht die Belastung der Stromquelle durch ein vermehrtes Auftreten von Kurzschlüssen und ein häufiges Neuzünden des Lichtbogens. Die Entwicklung

erfolgt vor dem Hintergrund der Neuentwicklung von Inverterstromquellen für das UP-Schweißen, um aktuellen Marktentwicklungen Rechnung zu tragen. Um die zukünftige Verfügbarkeit von Stromquellen auch für die Elektrokontaktbearbeitung sicherzustellen, wird nun das Modifizierungspotenzial in den Fokus gerückt, um eine prozessangepasste Variante entwickeln zu können. Die Weiterentwicklung kann unter Beachtung aller Randbedingungen der Prozesse und vor dem Hintergrund möglicher technischer oder regulatorischer Randbedingungen durch den Anwendungsfall im kerntechnischen Rückbau erfüllt werden.

Zur Erfüllung der Aufgaben werden ein Entwicklungsingenieur zur technischen Entwicklung der Anlagentechnik und zeitweise ein Projektleiter zur Koordinierung der Modifikation der Invertertechnik eingesetzt. Diese arbeiten eng mit den anwendungstechnischen Experten von EWN und den prozesstechnischen Experten des IWs zusammen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

In Kooperation mit dem Institut für Werkstoffkunde erfolgt die Entwicklung und der Aufbau einer automatisierbaren Schneidanlage für die CAMG- und CAMC-Technologie. Die Begleitung dieses Prozesses erfolgt aus der lichtbogenphysikalischen Perspektive, wobei die Entwicklung der notwendigen Stromquelle erfolgt. Diese kann perspektivisch im kerntechnischen Rückbau eingesetzt werden. Dafür ist eine Mitarbeit in einem Komplex des Projektes vorgesehen. In diesem Rahmen erfolgt die Mitarbeit an zwei Arbeitspaketen:

A/2 Auslegung der Stromquelle: Erstellung eines Lastenheftes sowie Entwicklung der benötigten Komponenten unter Berücksichtigung aller Randbedingungen für den CAMG- und den CAMC-Prozess

A/3 Herstellung und Überprüfung der Stromquelle: Fertigung, Qualitätssicherung und Testen der Stromquelle auch unter Prozessbedingungen, inklusive der vom IW entworfenen Prozesstechnik

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

A/2 Auslegung der Stromquelle:

Q4/24: Konzeptionierung & Erstellung Lastenheft	-	abgeschlossen
Auslegung und Aufbau Inverter-Modul	-	in Bearbeitung
Auslegung Stromquellen-Gehäuse	-	offen

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

A/2 Auslegung der Stromquelle:

Q1/25: Test Inverter-Modul	-	in Bearbeitung
Entwicklung Musterteile Stromquellen-Gehäuse	-	in Bearbeitung
Auslegung von Stromquellenkomponenten (SQK)	-	in Bearbeitung
Q2/25: Auslegung Hauptsteuerleiterkarte	-	offen
Aufbau Stromquellen-Gehäuse	-	offen
Entwicklung und Aufbau SQK	-	offen
Q3/25: Entwicklung und Aufbau Hauptsteuerleiterkarte	-	offen
Test Stromquellen-Gehäuse (Fall, Wärme, Luft)	-	offen
Test der SQK (Drossel, Netzteil, Schütze, Relais)	-	offen

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Einen Bezug zu anderen Vorhaben gibt es derzeit nicht.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Es sind weder Berichte noch Veröffentlichung seitens Kjellberg geplant.

Berichtszeitraum: 01.11.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9450A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik		
Vorhabenbezeichnung: VP: Emissionsvermeidung durch Laser-Ablation beim Einsatz im nuklearen Rückbau, TP: Entwicklung eines Laserablationsprozesses zur effektiven Zerstörung von Oberflächenschichten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2024 bis 31.10.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.053.573,45 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Hartmut Krause		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hartmut.krause@iwtt.tu-freiberg.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Projekt Emilia soll die thermische Zersetzung der Beschichtungen im Laser-Plasma eines Hochleistungs-Impuls-Lasers untersucht und der gesamte Ablationsprozess hinsichtlich der Reaktionsbedingungen im Plasma zur Senkung der Emissionen optimiert werden. Es werden die Kriterien zur Sicherstellung der Abtragsqualität festgelegt und ein Inline-Analysenverfahren zur Vollständigkeit Abtrages in den Arbeitskopf integriert.

Die Schwerpunkte liegen dabei auf der

- 1) Optimierung des Laser-Ablationsprozesses hin zur effektiven Zerstörung der Gefahrstoffe mit einem Lasersystem, dass sowohl für Beton- als auch Metallsubstrate geeignet ist,
- 2) Vermeidung der unkontrollierten Freisetzung von belasteten Gasen, Aerosolen und Partikeln,
- 3) Implementierung einer Automatisierungslösung zur Reduzierung der Strahlungsbelastung des Bedienpersonals,
- 4) Miniaturisierung, Weiterentwicklung und Integration eines infrarotbasierten Lackdetektionsverfahrens zur Sicherstellung des vollständigen Lackabtrages.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP1: Detaillierte Analyse der Randbedingungen an Kraftwerksstandorten
 AP2: Untersuchung der Reaktionen im Plasma eines Hochleistungs-Impuls-Lasers
 AP3: Simulation der Strömungsverhältnisse und Reaktionen im Laser-Plasma
 AP4: Detektion des Ablationserfolges und Bestimmung der Restschichtdicke
 AP5: Entwicklung und Bau eines Demonstrators für die Laser-Ablation
 AP6: Erprobung und Nachweis der Funktion an ausgewählten Proben im Labormaßstab
 AP7: Nachweis der Praxistauglichkeit der Laser-Ablation im Feldversuch in einer kerntechnischen Anlage
 AP8: Evaluierung und Aufbereitung der Ergebnisse für die Projektdokumentation

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

AP1: Beginn der Abstimmung von allgemeinen Rahmenbedingungen mit den Projektpartnern und Organisation des zukünftigen Informationsaustausches. In Vorbereitung auf das Projekt wurden die grundsätzlich für die Oberflächendekontamination zur Verfügung stehenden Methoden mit zugehörigen Vor- und Nachteilen sowie Kennzahlen im Rahmen einer

studentischen Projektarbeit betrachtet und verglichen. (siehe Abschnitt 6) Die Literaturrecherche zu möglichen Messmethoden innerhalb des Laser-Plasmas wurde begonnen. Die Arbeiten wurden in einem gemeinsamen Kick-Off-Meeting am 09.01.2025 beim Partner Weber Schweißtechnik präsentiert und diskutiert.

- AP2: Die Beschaffung des Ablationslasers wurde in die Wege geleitet und die Planung für den Umbau des Versuchsstandes wurde begonnen.
- AP3: Für die Modellentwicklung im Lackabtrag wird momentan eine Literaturrecherche zu den möglichen Entstehungsmechanismen des Laser-Plasmas durchgeführt. Für die Untersuchung der Strömungsverhältnisse im Arbeitskopf werden unterschiedliche Konzepte diskutiert und Daten zu bisherigen Ausführungen der Arbeitsköpfe ausgewertet.
- AP4: Der bestehende Versuchsstand zur infrarotbasierten Lackdetektion aus Projekt LaDECO wurde wieder in Betrieb genommen. In Vorbereitung auf das Projekt wurden erste Untersuchungen zu den physikalischen Grundlagen der Wärmeausbreitung im System „IR-Strahlungsquelle – Probe – IR-Kamera“ im Rahmen einer Masterarbeit durchgeführt sowie ein Vergleich von Dekontaminationsmethoden (siehe Abschnitt 6). Diese Untersuchungen wurden im Rahmen des Projektes bewertet.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

- AP1: Die Ermittlung der Rahmenparameter für die Laserablation und die Zusammenfassung dieser Daten in einem Pflichtenheft für die Anforderungen an den Demonstrator sollen vorläufig abgeschlossen werden. Darauf aufbauend erfolgt die Auswahl von geeigneten Messmethoden für die Untersuchung des Laser-Plasmas.
- AP2: Die Konzipierung, Entwicklung und der Bau des Versuchsstandes für die Laserablation sollen weitestgehend abgeschlossen werden. Die Inbetriebnahme des Lasers und des Versuchsstandes sind geplant. Es erfolgen im Rahmen der Beschaffung des Lasers eine Weiterbildung des geplanten Personals hinsichtlich des Betriebes und Laserschutz.
- AP3: Für die Modellentwicklung im Lackabtrag müssen in Abgleich mit der Literaturrecherche mögliche Modellierungsansätze und deren Mehrwert für das Verständnis des Laserabtrags diskutiert werden. Hierbei sollen auch die Möglichkeiten bereits vorhandener Softwarelösungen betrachtet werden. Für die Untersuchung der Strömungsverhältnisse im Arbeitskopf soll ein neuer Arbeitskopf entwickelt werden. Die dafür zu erstellenden Skizzen müssen in ein CAD – Modell übertragen werden, welche die Grundlage der Vernetzung weiterer Modellierung bilden.
- AP4: Die Weiterentwicklung des Versuchsstandes wird fortgesetzt und es wird mit der Adaption des Lackdetektionsverfahrens begonnen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Kick-off-Meetings (09.01.2025) fand eine ausführliche Diskussion zu den Schnittstellen und Synergieeffekten mit Projekt ARRIVE statt. Im Pflichtenheft wird auf diese Schnittstellen Bezug genommen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Kühn, R. und El Fahkdi, S.; Projektarbeit, 09/2024: Methodenvergleich für die verfügbaren Technologien zur Oberflächendekontamination beim Rückbau kerntechnischer Anlagen
- Bannouri, O.; Masterarbeit; 11/2024: Energetische Betrachtung der Wärmefluss-Thermografie

Berichtszeitraum: 01.11.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9450B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: WSM Weber Schweißmaschinen GmbH, Zeppelinstr. 4, 35418 Buseck		
Vorhabenbezeichnung: VP: Emissionsvermeidung durch Laser-Ablation beim Einsatz im nuklearen Rückbau, TP: Entwicklung eines Demonstrators zur Laserablation		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2024 bis 31.10.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 119.362,80 €
Projektleiter/-in: Dipl. Ing. Karl Martin Weber		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: m.weber@weber-schweissmaschinen.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Im Projekt Emilia soll die thermische Zersetzung der Beschichtungen im Laser-Plasma eines Hochleistungs-Impuls-Lasers untersucht und der gesamte Ablationsprozess hinsichtlich der Reaktionsbedingungen im Plasma zur Senkung der Emissionen optimiert werden. Es werden die Kriterien zur Sicherstellung der Abtragsqualität festgelegt und ein Inline-Analysenverfahren zur Vollständigkeit Abtrages in den Arbeitskopf integriert.

Die Schwerpunkte liegen dabei auf der

- 1.) Optimierung des Laser-Ablationsprozesses hin zur effektiven Zerstörung der Gefahrstoffe mit einem Lasersystem, dass sowohl für Beton- als auch Metallsubstrate geeignet ist,
- 2.) Vermeidung der unkontrollierten Freisetzung von belasteten Gasen, Aerosolen und Partikeln,
- 3.) Implementierung einer Automatisierungslösung zur Reduzierung der Strahlungsbelastung des Bedienpersonals,
- 4.) Miniaturisierung, Weiterentwicklung und Integration eines infrarotbasierten Lackdetektionsverfahrens zur Sicherstellung des vollständigen Lackabtrages.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP5: Entwicklung und Bau eines Demonstrators für die Laser-Ablation.

Das Teilprojekt von WSM zielt auf die Entwicklung eines Arbeitskopfes mit einer integrierten bildgebenden Überwachungslösung zur Kontrolle des Ablationserfolges sowie eine arbeitskopfnah Filtertechnologie. Das System wird so kompakt aufgebaut, das eine Implementierung in eine autonome Roboterplattform möglich ist. Das System wird in einem Demonstrator umgesetzt. WSM wird zusätzlich den Einsatz für sekundärabfallfreie Reinigungsverfahren in Fertigungsstraßen untersuchen und Scale-up-Optionen entwickeln.

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

AP5: In diesem Arbeitsprogramm fanden in den ersten beiden Projektmonaten 11. und 12.2024 keine Maßnahmen statt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP5: WSM wird die Laboruntersuchungen, die Anforderungen an den Demonstrator und die Automatisierungslösung in der Phase 1 ab Anfang 2025 technisch begleiten. Der Schwerpunkt der Arbeiten von WSM liegt aber in Phase 2 ab dem 4. Quartal 2025, aufbauend auf den Grundlagenuntersuchungen aus AP 1 bis AP 4.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Kick-off-Meetings (09.01.2025) fand eine ausführliche Diskussion zu den Schnittstellen und Synergieeffekten mit Projekt ARRIVE statt. Im Pflichtenheft wird auf diese Schnittstellen Bezug genommen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9447A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V.		
Vorhabenbezeichnung: VP: Experimentell gestützte Berechnungen von Neutronenfeldern und den daraus resultierenden Aktivitäten in reaktorfernen Räumen, TP: Berechnungen Aktivitätsverteilung in reaktorfernen Räumen auf Basis von der Neutronenfluenzrechnungen und Experimenten		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2024 bis 30.09.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.355.099,91 €
Projektleiter/-in: Jörg Konheiser		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: j.konheiser@hzdr.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Verbundprojektes EBENE ist es, mit Hilfe von experimentell gestützten Neutronenfluenzrechnungen die zu erwartenden Aktivitäten durch Aktivierungsreaktionen, die im Leistungsbetrieb aufgetreten sein können, in den Räumen außerhalb des Tragschildes zu bestimmen. Das heißt, dass die Fluenzrechnung auf Basis experimenteller Werte, die aus dem abgeschlossenen FORKA-Projekt EMPRADO zur Verfügung stehen, neu skaliert wird und mit den angepassten Werten die Aktivierung in den umgebenden Wänden und Komponenten des ersten Kreislaufes neu bestimmt wird. Für die Berechnungen werden international anerkannte Codes genutzt. Die Modelle werden durch gezielte Aktivierungsversuche an Referenzquellen validiert.

Zur Validierung der Ergebnisse werden Beton- und Stahlproben aus einem abgeschalteten deutschen Referenzkraftwerk entnommen und deren exakte Zusammensetzung und Aktivität experimentell bestimmt. Sollte es sich zeigen, dass Rechnung und Messung gut übereinstimmen, könnte dieser Ansatz komplementär zur bisherigen Strategie einer engen Beprobung der Anlagengräume sein und eine enorme Reduktion von Zeit und Kosten bedeuten.

Für eine zusätzliche Validierung sollen vergleichbare nicht aktivierte Betonproben aus dem Referenzkraftwerk mit Neutronen aus einer definierten Quelle bestrahlt und die entstandenen Aktivitäten experimentell bestimmt werden. Durch den Vergleich kann auf den Neutronenfluss in den aktiven Proben geschlossen werden, und es können mögliche spektrale Einflüsse quantifiziert werden.

Außerdem wird untersucht, wie sich die Beton- und Metallzusammensetzung der einzelnen KKW und damit die Aktivierung unterscheidet. Für Vergleiche stehen experimentelle Werte aus den FORKA-Projekten WERREBA und KOBKA zur Verfügung.

Wichtiges Ziel ist der Erhalt nuklearer Kompetenz und die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Deshalb werden im Projekt neben den geplanten Dissertationen auch mehrere studentische Abschlussarbeiten angefertigt. Ebenso fließen Inhalte des Projektes in die universitäre Lehre ein.

2. . Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- AP 1: Rekursive Berechnung von Neutronenfeldern
Aufbauend auf dem Modell aus dem Projekt EMPRADO wird dieses an die jetzige Aufgabenstellung zugeschnitten, geometrisch erweitert und mit inneren Messwerten validiert. Auf Basis der äußeren Messungen wird das Modell weiter modifiziert und optimiert.
- AP 3: Experimentelle (radio-)chemische und strukturelle Charakterisierung der Materialproben
Die genommenen Proben werden umfassend analysiert. So wird die Zusammensetzung und Aktivität der Proben qualitativ und quantitativ bestimmt. Außerdem erfolgt eine strukturelle Charakterisierung der Materialien.
- AP 4: Validierung der Fluenzrechnungen auf Basis experimentell bestimmter Aktivitäten
Mit dem modifizierten Modell werden Neutronenfluenzen und die daraus resultierenden Aktivitäten an den Probenpositionen berechnet und mit den experimentellen Werten verglichen. Entsprechende Sensitivitätsanalysen und Untersuchungen zur Übertragbarkeit auf andere Konvoi-KKW werden durchgeführt.

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

- AP 1: Die Modelle aus EMPRADO wurden übernommen und es ist jetzt möglich, dass die Projektmitarbeiter Rechnungen ausführen können. So wurden erste Aktivitäten an den Materialprobenpositionen berechnet und mit den Gemessenen verglichen. Für die Probe aus der Kernumfassung im Bereich der Mittelebene konnte für die Hälfte der Aktivitäten sehr gute Übereinstimmungen (< 10% Unterschiede) erzielt werden. Bei den Co-60 und Nb-94 Aktivitäten liegen die Differenzen im Rahmen der experimentellen Unsicherheiten. Dagegen konnten für H-3 und C-14 keine Übereinstimmungen erzielt werden. Entsprechende Untersuchungen zur Ursache wurden diskutiert. Parallel zu den MCNP-Aktivitäten wurde das SERPENT Modell weiterentwickelt, so dass erste Testrechnungen für die Bestimmung der Probenaktivitäten durchgeführt werden konnten.
Um die Statistik der Oberflächenquelle am Tragschild zu verbessern, wurden spezielle Gewichtsdatensätze auf Basis der rekursiven Monte-Carlo Methode erzeugt.
- AP 3: Zur Etablierung verschiedener Methoden zur Porengrößenbestimmung im Beton (Quecksilberporosimetrie an der TU Dresden und μ -CT an der Außenstelle Leipzig des IRE) wurden Testexperimente mit Vergleichsbetonproben aus dem KKW Greifswald durchgeführt. Verschiedene Langzeit-Betonauflösungsversuche wurden ebenfalls mit dem Vergleichsmaterial aus dem KKW Greifswald gestartet.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

- AP 1: Abschluss der Rechnungen für den Vergleich mit den Aktivitäten der Materialproben. Bestimmung der Oberflächenbeiträge außerhalb des Tragschildes und Fortsetzung der systematischen Modellerweiterung.
- AP 3: Die Doktorandin Maud Zilbermann wird einen 3-monatigen Forschungsaufenthalt in der Arbeitsgruppe von Prof. Jixin Qiao an der Dänischen Technischen Universität (DTU) in Roskilde absolvieren (Mitte Januar – Mitte April). Dort wird sie ihre Kenntnisse zur radiochemischen Trennung und Analyse erweitern und die Probenpräparation für die quantitative Bestimmung von ^{41}Ca und ^{36}Cl mit Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS) erlernen. Anschließend sollen an den präparierten Proben AMS-Messungen am HZDR durchgeführt werden. Die Langzeit-Betonauflösungsexperimente werden fortgeführt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Zilbermann, M. E.; Barkleit, A.; Pönitz, E.; Stumpf, T.; Konheiser, J.: „Radiochemical and structural investigations on the activated concrete biological shield of the Greifswald NPP unit 2 – Comparison with calculations” - Jahrestagung der Fachgruppe Nuklearchemie 2024, 05.-07.11.2024, Karlsruhe, Germany – Vortrag

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9447B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden		
Vorhabenbezeichnung: VP: Experimentell gestützte Berechnungen von Neutronenfeldern und den daraus resultierenden Aktivitäten in reaktorfernen Räumen, TP: Experimentelle Aktivierung und Benchmarkexperimente zur Validierung von Aktivierungsberechnungen und Untersuchung zur Aktivierbarkeit von Kernkraftwerksstrukturen		
Laufzeit des Vorhabens 01.04.2024 bis 30.09.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 265.774,84 Euro
Projektleiter/-in: T. Kormoll		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Thomas.kormoll@tu-dresden.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Eine frühe Kenntnis der spezifischen Aktivitäten der verschiedenen Bauteile eines Kernkraftwerks (KKW) ist ausschlaggebend für die Bestimmung der anfallenden radioaktiven Abfälle und damit entscheidend für die optimale Planung des KKW-Rückbaus. Für den Bereich innerhalb der biologischen Abschirmung ist anzunehmen, dass sowohl wegen der räumlichen Nähe zum Reaktorkern als auch der guten Modellierbarkeit der geometrischen Strukturen (gut bekannte und dokumentierte Abmaße und Materialzusammensetzungen) genaue Neutronenfluenzwerte berechnet werden können. Dies ermöglicht präzise Aktivitätsabschätzungen. In den Räumen außerhalb der biologischen Abschirmung bzw. des Tragschildes sind größere Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Aktivierungen zu erwarten. Die Ursachen dafür sind zum Beispiel der zunehmende Abstand zum Reaktorkern und die damit um Größenordnungen reduzierte Neutronenfluenz. Für die reaktorkernfernen Bereiche in den Kraftwerken sind deshalb neue Lösungsansätze erforderlich, auch um genauer zwischen Aktivierung und Kontamination durch Primärkreislaufwasser unterscheiden zu können. Das Ziel des Verbundprojektes EBENE ist es, die oben genannten Probleme zu lösen und die zu erwartenden Aktivitäten in den Räumen außerhalb des Tragschildes zu bestimmen.

Parallel zu den oben genannten Arbeiten werden an ausgewählten Stellen Materialproben (z.B. Beton, Stahl) aus dem Ende 2021 abgeschalteten KKW Grohnde entnommen und Messungen zur Bestimmung der exakten Materialzusammensetzung und Aktivierung durchgeführt. Auf Basis dieser Messungen werden sowohl die neue Skalierung bzw. Normierung als auch die darauf basierenden berechneten Ergebnisse überprüft.

Für eine komplementäre, simultane Validierung der Methode sollen nicht aktivierte Betonproben aus dem KKW Grohnde mit vergleichbarer Materialzusammensetzung wie die aktivierten Proben mit Neutronen aus einer definierten Neutronenquelle bestrahlt werden. Nach der Bestrahlung werden die entstandenen Aktivierungen experimentell bestimmt. Diese Studien sind essenziell für die Validierung der Simulationen einerseits und der für die im Beton anzutreffenden Elemente hinterlegter Wirkungsquerschnittsdaten andererseits. Da der Leistungsbetrieb schon mehrere Jahre zurückliegt, können nur so experimentelle Verifikationsdaten für die Simulationsrechnungen gewonnen werden.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das gesamte Verbundvorhaben ist in 5 aufeinander abgestimmte Arbeitspakete (AP) gegliedert:

- AP 1: Rekursive Berechnung von Neutronenfeldern
- AP 2: Extraktion von Proben aus der Betonabschirmung (Tragschild) und (metallischen) Einbauten (Rohrleitungen, Befestigungen)
- AP 3: Experimentelle (radio-)chemische und strukturelle Charakterisierung der Materialproben
- AP 4: Validierung der Fluenzrechnungen auf Basis experimentell bestimmter Aktivitäten
- AP 5: Experimentelle Aktivierungsuntersuchungen von Kernkraftwerksbeton

Die TUD ist für die Durchführung des Arbeitspakets 5 verantwortlich. Dieses gliedert sich in folgende Unterpunkte:

- 5.1 Charakterisierung der Neutronenquellen
- 5.2 Erstellung Quellsimulation
- 5.3 Aktivierung von Betonproben
- 5.4 Simulation der Aktivierungen und Vergleich

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

Im AP 5.1 wird die Flussdichte der Neutronen der am Institut für Kern- und Teilchenphysik vorhandenen Neutronenquellen mittels Aktivierungsexperimenten bestimmt.

Dazu werden verschiedene Elemente als Sonde genutzt. Aus der Aktivität der Sonden kann die Flussdichte berechnet werden.

Die Flussdichte ist abhängig von der Energie der Neutronen. Diese kann in drei Bereiche eingeteilt werden: thermisch, intermediär und schnell. Zur Ermittlung der Flussdichte im thermischen Energiebereich wurde die durch Neutroneneinfangreaktionen (n, γ) hervorgerufene Aktivität gemessen. Die mittlere Flussdichte konnte so als $2 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ermittelt werden.

Zur Ermittlung der Flussdichte im intermediären Energiebereich wurden die thermischen Neutronen durch Cadmium abgeschirmt und die verbliebenen Neutroneneinfangreaktionen betrachtet. Die Fluenz in diesem Bereich folgt einer $1/E^\alpha$ -Verteilung, wobei E für die Neutronenenergie steht. Um α zu ermitteln wurden verschiedene Aktivierungsquellen verwendet, deren Resonanzen bei unterschiedlichen Energien des intermediären Spektrums liegen.

Weiterhin wurden auch Experimente zur Ermittlung der Flussdichte der schnellen Neutronen durchgeführt. Hierzu wurden Umwandlungsreaktionen wie (n, p), (n, α) oder ($n, 2n$) betrachtet.

Parallel wird für AP 5.2 eine Simulation der Neutronenquelle erstellt, um später die Ergebnisse von Experiment und Simulation vergleichen zu können.

Zu AP 5.3 wurden aus dem vom KKW Grohnde stammenden Beton verschiedene Proben angefertigt. Um Signalverlust zu reduzieren, wurde die Geometrie der Proben so gewählt, dass sie dicht am Detektor platziert werden können. Aktuell befindet sich die erste Betonprobe zur Aktivierung in der Neutronenquelle. Insbesondere die Ausbeute an Strahlung durch Aktivierung der Metallproben kann durch eine Oberflächenstrukturierung erhöht werden. Hierzu wurde Kontakt zum Laserinstitut der Hochschule Mittweida aufgenommen. Eine maximale Ausbeute an Beta-Strahlung ist wichtig, um auch geringe Aktivitäten nachweisen zu können.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Aus den durchgeführten Messungen wird die Flusssdichte im intermediären und im schnellen Energiebereich bestimmt. Das ermittelte Spektrum wird anschließend mit dem durch die Simulation ermittelten Spektrum verglichen.

Außerdem werden die hergestellten Betonproben aktiviert, ihre Aktivität gemessen, sowie die entstandenen Nuklide analysiert. Ggf. werden die Proben überarbeitet, um genauere Ergebnisse zu erzielen (AP 5.3). Die Strukturierung von Metallproben auf Mikrometer-Ebene wird mittels Ultrakurzpuls-Lasern beauftragt und experimentell untersucht.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

KOBEKA, EMPRADO

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bisher sind keine Berichte oder Veröffentlichungen entstanden.

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9447C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: PreussenElektra GmbH		
Vorhabenbezeichnung: VP: Experimentell gestützte Berechnungen von Neutronenfeldern und den daraus resultierenden Aktivitäten in reaktorfernen Räumen, TP: Probenahme und Bewertung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2024 bis 30.09.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 34.376,54 €
Projektleiter/-in: Marcus Seidl		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: marcus.seidl@preussenelektra.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Verbundprojektes EBENE ist es, mit Hilfe von experimentell gestützten Neutronenfluenzrechnungen die zu erwartenden Aktivitäten durch Aktivierungsreaktionen, die im Leistungsbetrieb aufgetreten sein können, in den Räumen außerhalb des Tragschildes zu bestimmen. Das heißt, dass die Fluenzrechnung auf Basis experimenteller Werte, die aus dem EMPRADO Projekt zur Verfügung stehen, neu skaliert wird und mit den angepassten Werten die Aktivierung in den umgebenden Wänden und Komponenten des Primärkreislaufes neu bestimmt wird. Für die Berechnungen werden international anerkannte Codes genutzt. Die Modelle werden durch gezielte Aktivierungsversuche an Referenzquellen validiert.

Zur Validierung der Ergebnisse werden Beton- und Stahlproben aus einer abgeschalteten Vor-Konvoi Anlage entnommen und deren exakte Zusammensetzung und Aktivität experimentell bestimmt. Sollte es sich zeigen, dass die Rechnung und Messung gut übereinstimmen, könnte dieser Ansatz komplementär zur bisherigen Strategie einer engen Beprobung der Anlagenräume sein und den Zeitaufwand und die Kosten der radiologischen Charakterisierung bedeutend senken.

Für eine zusätzliche Validierung werden vergleichbare, nicht aktivierte Betonproben aus der Vor-Konvoi Anlage mit Neutronen aus einer definierten Quelle bestrahlt, und die entstandenen Aktivitäten experimentell bestimmt. Durch den Vergleich kann auf den Neutronenfluss in den aktiven Proben geschlossen und mögliche spektrale Einflüsse quantifiziert werden.

Außerdem wird untersucht, wie sich die Beton- und Metallzusammensetzung aus verschiedenen Anlagen und damit in der Aktivierung unterscheiden. Für Vergleiche stehen auch experimentelle Werte aus den FORKA Projekten WERREBA und KOBKA zur Verfügung.

Wichtiges Ziel ist auch der Erhalt nuklearer Kompetenz und die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Deshalb werden im Projekt neben den geplanten Dissertationen auch mehrere studentische Abschlussarbeiten angefertigt. Ebenso fließen Inhalte des Projektes in die universitäre Lehre ein.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

AP 2: Extraktion von Proben aus der Betonabschirmung und metallischen Einbauten (PEL)

Aktivierte und inaktive Materialproben werden aus einer abgeschalteten Vor-Konvoi Anlage für eine umfangreiche (radio-)chemische Charakterisierung (AP 3) entnommen, die Tätigkeiten wer-

den vom Kraftwerk durchgeführt. Die Positionen werden in enger Absprache mit dem HZDR geplant. Basis dafür ist, die zu erwartende Aktivität und die technische Umsetzbarkeit

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

AP 2: Die Probenahme an den im April 2024 festgelegten Positionen wurden vorbereitet. Da es sich auch um Kernbohrungen handelt, wurde die Gebäudestatik bewertet. Die entsprechenden Arbeitsmittel wurden beschafft. In Abstimmung mit den zuständigen Abteilungen für Strahlenschutz und Arbeitssicherheit wurde die konkrete Durchführung der Probenahme vorbereitet und die notwendigen Arbeitsaufträge verfasst.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP 2: Es ist geplant, die Probenahme im ersten Halbjahr abzuschließen und anschließend die Proben an die Projektpartner zu versenden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 entwickeln und im Pilotmaßstab demonstriert werden. Auf diese Weise soll ein wesentlicher Beitrag zur Lösung eines schwierigen Entsorgungsproblems geleistet werden.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- AP010 Projektkoordination und Administratives
- AP100 Vorbereitende Arbeiten
- AP200 Optimierung und Weiterentwicklung
- AP300 Entwicklung Steuerungslösung zur Trennung von Anodengasfraktionen und Erprobung neue totzeitarme Methode zur C-14 Messung in Gasen
- AP400 Scale up zur Pilotanlage und Erprobung mit realen Abfalllösungen im Dauerbetrieb und Gewinnung einer mit C-14 hoch angereicherten Gasfraktion für ein C-14-Recycling
- AP500 Konditionierung/Freimessung der Reaktionsprodukte
- AP600 Fortschreibung Verwertungskonzept

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

- AP010: Das vierte Verbundmeeting wurde im November 2024 durchgeführt. Dabei wurden die nächsten Bearbeitungsschritte abgestimmt.
- AP100: Die Erprobungen wurden mit unterschiedlichen Parametersätzen fortgesetzt.
- AP200: Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten zur Optimierung weiter vorangetrieben und auf weitere abfalltypische Substanzen ausgedehnt. Die umfangreiche begleitende Anodengasanalytik mittels Massenspektrometer und Einzelsubstanzanalytik ermöglichte auch dabei tiefergehende Einblicke in die Kinetik und den Mechanismus der Anodengasfreisetzung. Die grundlegenden Erkenntnisse wurden allgemein bestätigt. Jedoch nimmt die Varianz der Ergebnisse mit zunehmender Massenzahl der Ausgangsmoleküle zu. Im Vergleich zur Oxidation von Methanol ist meist weniger CO im Anodengas nachweisbar. Dies erfordert eine zusätzliche Anpassung der Gasbehandlungsstrecken. Ozon und organische Dämpfe (strip-Effekt) spielen dagegen auch weiterhin keine Rolle für die Anodengasbehandlung/-absorption. Die Konzentrationsverteilungsmuster für die schwereren isotopischen Verbindungen (C-, O- und H-Isotope) gestalten sich zunehmend komplexer. Sie sind aber deutlich erkennbar und erstrecken sich zeitlich im Hinblick auf die geplante An-/Abreicherung über einen steuerungstechnisch erfassbaren Bereich.
- AP300: Mit der Bearbeitung konnte wegen fehlender Zählrohre noch nicht begonnen werden.
- AP400: Der Anlagenaufbau konnte kurz vor Jahresende bis auf ein Monitoringssystem zur Überwachung der Anodengasabsorber abgeschlossen werden. Erste inaktive Testläufe zur Erprobung der sicherheitsrelevanten Steuerungsfunktionen wurden ebenfalls erfolgreich durchgeführt.
- AP500: Es erfolgten weitere methodische Arbeiten zur Verbesserung der Nachweisgrenzen.
- AP600: Im Berichtszeitraum waren hierzu keine Arbeiten vorgesehen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

- AP010: Die Bearbeitung wird planmäßig fortgesetzt. Das nächste Verbundmeeting ist im Sommer 2025 geplant.
- AP100: Die Untersuchungen werden fortgesetzt.
- AP200: Die Untersuchungen werden schrittweise auf weitere relevante chemische Verbindungen ausgedehnt.
- AP300: Die experimentelle Bearbeitung wird nunmehr im 1. Halbjahr 2025 durchgeführt.
- AP400: Die Bearbeitung wird fortgesetzt. Die Pilotanlage wird im I. Quartal in Betrieb genommen.
- AP500: Die methodischen Entwicklungsarbeiten werden bedarfsabhängig fortgesetzt.
- AP6: Die Bearbeitung erfolgt im Jahr 2025.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

-keine-

Berichtszeitraum: 30.06.2024 – 31.12.2024		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, dass diese Nachteile vermeiden, 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 Edukt Charakterisierung

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 (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP 320 Erprobung/Weiterentwicklung totzeitarme C-14-Messung

Im Zuge der Entwicklung des Detektors kam es zu einigen Änderungen bezüglich der Verfügbarkeit essentieller Bauteile. Dies betraf unter anderem die Spannungsversorgung. Um hier eine bessere Ausgangssituation zu bekommen, wurde für die vorhandenen SiPM eine Spannungsversorgung entwickelt und gefertigt. Diese ermöglicht es nun einen breiten Spannungsbereich abzudecken. Stabilitätsuntersuchungen weisen eine sehr gute Stabilität über einen weiten Aktivitätsbereich auf. Weiterhin kann die Spannungsversorgung sehr gut an andere Detektortypen angepasst werden.

Weiterhin sollen Testmessungen beim Projektpartner IKTS im ersten Quartal 2025 starten.

Für die Peakanalyse soll ein eigenes Evaluationsboard entwickelt werden, welchen an die Anforderungen der Szintillationsmessungen angepasst werden. Dies ist vor allem die sehr schnelle Datenaquisition und Weiterverarbeitung. Hierfür werden aktuell die entsprechenden Parameter zusammengestellt und passende Bauteil gesucht.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Fortführung der oben genannten AP.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 31.12.2024		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: 97.797,16 €
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 sind 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)

AP100: keine

AP200: keine

AP300: keine

AP400: keine

AP500: keine

AP600: keine

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP100: Konkretisierung ist erst nach Nachweis der Gasfraktionierung und Erreichen eines 14C Mindestgehalt > 1% in der 14C Fraktion möglich.

AP200

AP300

AP400

AP500

AP600

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9441
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Framatome GmbH		
Vorhabenbezeichnung: Konditionierung von mittelaktiven (ILW) Ionentauscherabfällen aus der Chemischen System Dekontamination		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2023 bis 30.09.2025		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)

Im H2 2024 wurde die Methodenentwicklung und – optimierung (AP2) weiter fortgesetzt, d.h. die bis dato ausgearbeitete Methode wurde auf verschiedene Ionentauschermaterialien und – beladungen angewandt. Dabei zeigte sich, dass sowohl bei Kationentauscher aus der chemischen Systemdekontamination als auch bei Betriebskationentauscher der zugegebene Eisenkatalysator mit dem Kationentauscher interagiert, d.h. das zur Katalyse zugegebene Eisen wird entweder auf freien Tauscherplätzen gebunden oder verdrängt schwächer gebundene Ionen. Entsprechend wurden die benötigten Katalysatormengen (Eisen- und Kupferkatalysator angepasst, d.h. entsprechend erhöht). Auch für Anionentauscher sowohl aus der chemischen Systemdekontamination als auch aus dem Betrieb mussten die Katalysatormengen erhöht werden, um Verdünnungseffekte durch die Zugabe des Oxidationsmittels auszugleichen. Somit ergibt sich nun eine konstante Menge an Katalysator unabhängig, ob es sich um einen (teilweise) mit Eisen beladenen Kationentauscher handelt oder einen Anionentauscher, bzw. um einen Mischbetttauscher. Es wurde ferner festgestellt, dass die Zersetzung von reinen Anionentauscher langsamer verläuft als von Kationentauscher. Bei Mischbetttauscher konnte kein Unterschied zwischen einem Volumenverhältnis von 1:1 und einem Molaren Verhältnis (bezogen auf die Tauscherkapazität) von 1:1 beobachtet werden.

Aufgrund der Erfahrungen hinsichtlich zu geringer Katalysatormengen konnte auch nachgewiesen werden, dass

- a) die Zersetzungsreaktion nach einem Prozessabbruch, d.h. keine Zugabe des Oxidationsmittels und vollständiges Abreagieren dieses) zu jedem Zeitpunkt neu gestartet werden kann als auch
- b) nicht (vollständig) zerstörtes Ionentauschermaterial bei einem nachfolgenden Zersetzungsbatch weiter abgebaut werden kann.

Ferner wurde am Monitoring für das sicherheitsrelevante Oxidationsmittel gearbeitet. Es gelang die Wasserstoffperoxidkonzentration sowohl cerimetrisch als auch mit Raman-Spektrometrie richtig zu bestimmen. Auch wurde begonnen mittels Multivariater Datenanalyse Akkumulationen zu identifizieren. Neben der Multivariaten Datenanalyse gelang es auch mittels Datenanalyse Wertebereiche für die Beziehung mehrerer Prozessparameter zu definieren bei denen sicher keine Akkumulation, möglicherweise eine Akkumulation oder sicher eine Akkumulation von Wasserstoffperoxid vorliegt.

Die Verfestigung (AP3) von aufkonzentrierte zerstörte Ionentauscherharze wurde durch eine Reihe von Zementrezepturen mit variablen Anteilen an Zusatzstoffe getestet. Die resultierende Probekörper wurden auf Druckfestigkeit und Auslaugung (anhand Cäsiums) untersucht. Durch die Druckfestigkeitsergebnisse konnten ungeeignete Zusammenstellungen ausgeschlossen werden, während zugleich bestätigt wurde, dass bei den passenden Zusammensetzungen die erwarteten Matrix-Eigenschaften erreicht werden. Bei der Analyse von den Auslaugungstests weichen die Ergebnisse dahingegen von den Erwartungen ab, was eventuell an den erhöhten Cäsium Gehalt für die Auslaugung liegen konnte.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Aufgrund der notwendigen Anpassung der Katalysatormenge die bei der Testung unterschiedlicher Ionentauschermaterialien und -beladungen identifiziert worden sind, soll in 2025 nun noch einmal die Anwendung des Zersetzungsprozesses auf unterschiedliche Ionentauschermaterialien und -beladungen getestet werden (AP2). Ferner soll getestet werden, ob die aus den Prozessdaten berechneten Werte in den definierten Wertebereiche eine Wasserstoffperoxidakkumulation sicher anzeigen können. Die Implementierung der Wasserstoffperoxidanalyse (Raman-Spektrometrie, Cerimetrische Bestimmung) ist hingegen nicht geplant und soll in der Verwertungsphase erst erfolgen.

Auch soll das AP3 fortgesetzt und abgeschlossen werden, d.h. die Charakterisierung von immobilisierten verflüssigten Ionentauscherabfälle in verschiedenen Matrizen.

Zusätzlich für AP3 soll die Verfestigung von aufkonzentrierte zerstörte Ionentauscherharze mittels Geopolymerisation als alternative Verfestigungsmatrix zu Zement getestet werden. Erstens wird die Machbarkeit der Geopolymerisation bei einem niedrigen pH-Wert getestet, und falls erfolgreich, in welchem Anteil damit die benötigte Matrix Eigenschaften eingehalten werden.

Bezüglich Zementierung, die Ergebnisse von den Auslaugungstests sollen Anhand Restproben überprüft werden. Falls die abweichenden Ergebnisse dadurch bestätigt werden, soll eine neue Kampagne an Zementierungstests durchgeführt werden, gegebenenfalls mit einem niedrigeren Gehalt an Cäsium. Bei Erreichung der erwarteten Druckfestigkeit sowie Auslaugung kann das AP3 abgeschlossen werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

WM2025 Conference, Second Phase of the Project for Spent Resin Treatment: Solidification of the Liquefied Ion Exchange Resins– 25157

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 (14C). 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 14C 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)

Die Inbetriebnahme der eingesetzten Geräte zur Charakterisierung des Grafits wurde erfolgreich abgeschlossen. Die für die Charakterisierung erforderlichen radiometrischen und radiochemischen Methoden wurden validiert.

Zur Bestimmung der Wiederfindungsraten für C-14 und H-3 im Oxidizer wurden Glukose-Standards erworben. Im Vergleich zum letzten Halbjahresbericht können nun die finalen Wiederfindungsraten angegeben werden: für C-14 beträgt die Wiederfindungsrate 94% und für H-3 96%, jeweils mit einer Unsicherheit von 4%. Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass bei Vorhandensein beider Radionuklide in einer Probe eine Trennung derer nach der Verbrennung durch die Auswahl geeigneter LSC-Cocktails möglich ist. Dies vereinfacht die nachfolgende LSC-Messung zur Bestimmung der Aktivitäten (Arbeitspaket 3).

Zur Methodenvalidierung des Flüssigszintillationszählers (LSC) für C-14 und H-3, nahmen wir an Ringversuche der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BFG) teil. Sowohl für C-14 wie auch für H-3 konnte ein erfolgreiches Ergebnis und Zertifikat erzielt werden (Arbeitspaket 3).

Bohrkernproben vom JEN in Jülich sind eingetroffen. Einige dieser Proben, wurden bereits von Dritten gammaspektrometrisch untersucht. Diese Proben wurden zur Validierung der von uns simulierten Effizienzkurven verwendet. Es konnten in der Regel gute Übereinstimmungen festgestellt werden. Die Ursachen von Abweichungen für wenige Nuklide werden derzeit untersucht (Arbeitspaket 3).

Die Charakterisierung der Grafit-Proben aus Mainz, sowie aus Jülich werden zurzeit durchgeführt (Arbeitspaket 3). Gammaspektrometrie Messungen aller Proben wurden durchgeführt. Erste vorläufige Ergebnisse zeigen, dass in fast allen Proben Co-60, Ba-133, Cs-137, Eu-152 und Eu-154 wiedergefunden werden können. In einigen weiteren Proben kann ebenfalls Am-241, Cs-134 und Eu-155 identifiziert werden. Die finalen Auswertungen mit Aktivitäts- und Nachweisgrenzen Bestimmungen laufen zurzeit (Arbeitspaket 3).

Zur Bestimmung der Aktivität der reinen Betastrahler C-14 und H-3 in den Proben, müssen diese zunächst mit dem Oxidizer vorbehandelt werden. Da pro Verbrennung lediglich 20 mg an Probe verarbeitet werden kann, ist eine repräsentative Probenahme erforderlich. Die aus Mainz erhaltenen Proben sind 10x10 cm große Grafitplatten. Um hierbei eine geeignete Probenahme durchzuführen, sollte mittels Autoradiographie die Homogenität der Betastrahler in den Platten bestimmt werden. Aufgrund eines kleinen Sichtfelds und der geringen Aktivität der Radionuklide in den Proben, würde eine vollständige Ab Rasterung der Vorder- und Rückseite Wochen dauern. Somit wurde eine neue schnelle Methode zur Vorabrasterung entwickelt. Hierfür wurde eine experimentelle Vorrichtung gebaut, in der mittels eines Gamma-Scouts Hotspots bzw. Spots erhöhter Aktivität schnell identifiziert werden könnten. Danach wurden dann diese Bereiche im Autoradiographen weiter untersucht (Arbeitspaket 3). Es wurden jedoch bei diesen Proben keine Hotspots identifiziert. Somit werden für die Probenahme flächenverteilt Bohrungen an Vorder- und Rückseite durchgeführt, aufgearbeitet und mittels LSC die Aktivitäten bestimmt. Zeitgleich wurden einige Grafit-Proben aus Jülich auf deren Homogenität untersucht. Hierbei können Hotspots festgestellt werden (Arbeitspaket 3).

Im Rahmen des Arbeitspakets 4, wurde die Superkritische Extraktionsanlage in Betrieb genommen und mit unbestrahltem Material alle Parameter getestet. Des Weiteren werden im Rahmen einer Masterprojektarbeit sowie einer Bachelorprojektarbeit zwei kleine Rohröfen sowie der Hochtemperaturofen charakterisiert und validiert (Arbeitspaket 4).

Die Projektleitung, sowie die Doktorand:innen nahmen im November an der Fachtagung Nuklearchemie teil. Ein interessanter Erfahrungsaustausch mit anderen Forschungsgruppen, sowie Doktorand:innen in diesem Themengebieten hat stattgefunden.

Darüber hinaus haben die Doktorand:innen ihren Projektstatus erfolgreich in zwei Vorträgen vorgestellt.

Nach der Konferenz Kerntechnik 2024, wurde die Projektleitung sowie der Institutsleiter von der Firma Krantz GmbH (Aachen) zu einem Firmen-organisierten Kompetenzseminar eingeladen, um das Projekt vor internationalen Industriepartnern vorstellen zu können. Hierbei konnten weitere internationale Kontakte geknüpft werden.

Da die verfügbaren Grafitproben aus den Forschungsreaktoren in Deutschland weiterhin stark begrenzt sind, wurden weitere Gespräche mit der Firma Cyclife geführt. Für das Jahr 2025 wurden uns nun Grafitproben aus Frankreich zugesichert (Arbeitspaket 1). Aktuell wird der Transport der Proben aus Frankreich zu Beginn des vierten Quartals besprochen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Die Bestimmung der Radionuklidinventare für die erhaltenen Proben aus Mainz und Jülich wird abgeschlossen und im Anschluss mit beiden Instituten diskutiert. Erste Grafitproben sollen für die Experimente zur Flüchtigkeit von C-14 und H-3 unter Endlagerbedingungen mittels Ausheizen in kleinen Rohröfen untersucht werden, wobei die Versuche in Kürze beginnen (Arbeitspaket 3).

Die Validierung der beiden Dekontaminationsmethoden – Hochtemperaturofen und SCFE – wird abgeschlossen und erste Dekontaminationsexperimente sollen bald durchgeführt werden (Arbeitspaket 4 & 5).

Sobald die Grafitproben aus Frankreich eintreffen, werden auch diese charakterisiert und zu Dekontaminationsversuchen eingesetzt (Arbeitspaket 3 – 5).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Zurzeit haben wir keinen Überlapp mit anderen Vorhaben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bachelorarbeit:

Development and validation of a characterization method for i-graphite by gammaspectrometry
(D. Reiswich)

Zurzeit werden zwei Masterprojektarbeiten und eine Bachelorprojektarbeit verfasst. Des Weiteren wird zurzeit zur Methodvalidierung und Charakterisierung ein Paper verfasst.

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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: 75.936,73 €
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 Arbeitsprogramm Punkten)

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 vier Kernkraftwerken in verschiedenen Formaten vor. Die Daten stammen aus drei 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.

Als zusätzliches Feature wurde eine Methode entwickelt, um auf BIM Modelle Aktivitätsdaten zu übertragen. Hierzu werden verschiedenen Bauteilen des BIM Models einheitliche Aktivitätsdichten zugeordnet. Diese Bauteile werden dann in einem Container platziert und voxelisiert. Daran anschließend wird mittels des Transportcodes FLUKA die Dosisleistung ermittelt. Dies ermöglicht eine einfache Verifizierung, ob die Dosisleistungskriterien eingehalten werden.

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. 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). Als zweiter Benchmark wurde die händische Verpackungsplanung eines biologischen Schildes eines Siedewasserreaktors zur Verfügung gestellt.

Zu AP6: Hier warten wir auf die Schnittstelle zu NWL von der BGE.

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

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Die Arbeiten der TU Darmstadt werden intensiv begleitet. Hilfestellung wird bei der Verwendung und Aufbereitung der BIM-Modelle geleistet und versucht, die Daten für das Arbeitspaket 6 aufzubereiten.

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.

Tim Ramaker, 2023 Konformitätsuntersuchungen an Monte-Carlo-basierten Dosisleistungsrechnungen 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>

Präsentation auf der FORKA-Tagung in Berlin

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9436B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Darmstadt – Fachbereich Bau- & Umweltingenieurwissenschaften – Institut für Numerische Methoden und Informatik 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

Um die Ergebnisse zu validieren, sollen die automatisierte Schnittplanung und die manuelle Schnittplanung der Firma AFRY verglichen werden. Die Anzahl der Container, die AFRY unter Berücksichtigung der Freigabebedingungen berechnet, dient als Benchmark. Für einen aussagekräftigen Vergleich stellt AFRY-Datensätze für Kernkraftwerke zur Verfügung, die aus Aktivitätsdaten und dem geometrischen Modell des biologischen Schildes bestehen.

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

Die BGE verwendet im Rahmen der Freigabeprozesse eine Datenbank, in der jeder Container erfasst werden soll. Im Rahmen des Projektes DABKO soll eine Schnittstelle implementiert werden, die die Containerinformationen, die im Rahmen der Schnitt und Verpackungsplanung entstehen, direkt in die Datenbank überführt.

Arbeitspaket 7: Dokumentation

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

Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells

AP 2 wurde im Wesentlichen abgeschlossen. Zur Validierung des Verfahrens (s. AP 4) werden aktuell die Koordinatenursprünge der BIM-Modelle dreier Biologischer Schilde und dazugehörigen Aktivitätsdaten aufeinander abgestimmt, sodass sie in der Game Engine Unity nach dem Import automatisch übereinandergelegt werden

Arbeitspaket 3: Automatisierte Abschirmberechnung

Es wurde die Möglichkeit geschaffen, Container zu simulieren, deren Zwischenräume mit (radioaktivem) Material verfüllt sind, da dieses Füllmaterial in der Realität die Dosisleistung außerhalb des Containers beeinflusst. Hierfür war es erforderlich, die nachträgliche Anpassung der Aktivitätsdaten zu ermöglichen. Zur Überprüfung der Simulation wurde ein gesamtes Bioschild mit Aktivitätsdaten versehen, und eine Simulation zur Abschätzung der Dosisleistung im Inneren des Bioschildes durchgeführt, um einen Referenzwert für die Planung der Abbauarbeiten zu ermitteln. Außerdem wurde die Simulation eines händisch gepackten Containers durchgeführt, bei der die gesamte Datenpipeline erfolgreich getestet wurde. Die Pipeline umfasste das Einlesen der STEP-Dateien der Container-Elemente, deren Voxelisierung im Voxelisierer sowie den anschließenden Export und die Simulation der Aktivitätsverteilung in FLUKA.

Arbeitspaket 4: Optimierung der Verpackungsplanung

Die Methoden zur Berechnung der Schwerpunktlage, des Füllgewichts und sowie eine vereinfachte Methode zur Berechnung des Störfallsummenwerts des Containers wurden optimiert und Fehler wurden behoben. Die Aktivitätsdaten der Teilsegmente können nun entweder als homogene Aktivitätsverteilung angenommen oder mittels einer Inversen Distanz Interpolation ermittelt werden. Hierbei werden jedem Voxel die Aktivitätswerte zugeordnet. Die Animation und Visualisierung der optimierten Schnitt- und Verpackungsplanung (AP 4.5) stellt den letzten Schritt im DABKO-Workflow dar. Der Nutzer erhält für jeden Container einen Plan im DIN A3-Format, auf dem die Konfiguration der Segmente im jeweiligen Container in einem Grundriss und zwei Schnitten abgebildet wird. Zudem werden Übersichtsbilder und weitere Informationen aufgeführt. Die Übersichtsbilder stammen aus der Animation der Verpackungsplanung der Unity-Anwendung. Es wurde ein Exporter entwickelt, der die Verpackungsanimation automatisch öffnet, dort die Bilder erstellt, die Anwendung wieder schließt und die Bilder in die PDFs einfügt. Damit sind sowohl die Ablaufanimation als auch die PDF-Pläne bereit für einen Testlauf mit dem BIM-Modell eines realen Containers. Bisher wurde zu Testzwecken mit abstrahierten Objekten gearbeitet.

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

In Zusammenarbeit mit TÜV SÜD und der BGE werden derzeit die Zugänge und möglichen Schnittstellen zur Datenbank geklärt. Die TU Darmstadt soll hierzu Zugriff auf die Dokumentation der Schnittstellen erhalten. Die Programmstruktur soll eine einfache und flexible Anbindung der Schnittstelle für den Export ermöglichen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Allgemein: Zusammenführung der verschiedenen Module zu einer einheitlichen Prozesskette sowie Dokumentation der Programme und Datenschnittstellen.

AP 3: Laden der verschiedenen Geometrien entsprechend des benötigten Containers und der erforderlichen Materialien auf Basis von Nutzereingaben.

AP 6: Schaffung einer Schnittstelle für den Export und die Speicherung der Ergebnisse der Zerschneide- und Verpackungsplanung in einer Datenbank.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Präsentation der FLUKA-Arbeiten im Rahmen der Jahrestagung des Fachverbands Strahlenschutz
Gegenwärtig werden folgende Veröffentlichungen geplant:

- Fachartikel zur wirtschaftlichen Abwägung Endlagerung von Betonstrukturen vs. Urban Mining nach ausreichender Abklingzeit
- Beitrag für die KONTEC zur Pipeline vom vorhandenen Schnittelement zur FLUKA Simulation

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024		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.

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 Arbeitsprogrammpunkten)

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

Handbuch zur Nuclear Waste Logistics (NWL) wurde von der BGE bereitgestellt. Danach erforderliche und im Projekt erhobene Daten wurden abgeglichen.

Arbeitspaket 7: Dokumentation

Interne Notizen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Auswertung und Veröffentlichung der Forschungsergebnisse hinsichtlich der endzulagernden Stahlbetonmassen. Vorstellung der aktuellen Ergebnisse bei der BGE.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Präsentation auf der FORKA-Tagung in Berlin, 2024.

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Zentrum der Arbeiten des zweiten Halbjahres 2024 standen wiederum die Vorbereitungen für die Evaluierungen im September und November 2024 bezüglich der jeweiligen Forderungen des GK FORKA sowie der Berücksichtigung von Rückmeldungen von Testnutzern.

Als Folge hiervon wurde die Website durch einen professionellen externen Dienstleister vollständig neugestaltet. Nach gemeinschaftlicher Festlegung des grundsätzlichen Konzepts und Layouts der Webseite wurde die prinzipielle Menüstruktur festgelegt. Diese basiert auf einer reduzierten Tiefe, d. h. der Nutzer soll mit möglichst wenigen Klicks zur gewünschten Information gelangen. Die Umsetzung erforderte eine vollständige Neuerstellung des Frontends, d. h. der den Nutzern zugänglichen Bereiche, und des Backends mit Neuaufbereitung aller bereits vorhandenen Inhalte. Der relativ kurze Zeitraum zur Umsetzung dieser Maßnahmen von ca. 2 Monaten

erlaubte es nicht alle bereits vorhandenen Inhalte wieder (vollständig) einzubinden. Bedingt ist dies auch durch die geforderte Fokussierung auf die Umsetzung eines Fallbeispiels auf Expertenebene. Für die Ausarbeitung und Umsetzung des Fallbeispiels wurde die aktuell stattfindende Überarbeitung bzw. Ergänzung der DIN EN ISO 19017 als Ausgangspunkt gewählt. Die Norm beschreibt übersichtsartig das Vorgehen bei Durchführung und Auswertung von Gamma-spektrometrischen Messungen an radioaktiven Abfallgebinden zur Aktivitätsbestimmung in offener bzw. kollimierter Geometrie, beides Verfahren, die unter der Bezeichnung segmentiertes Gamma-Scanning einzuordnen sind. Die beschriebenen Auswerteverfahren gehen von einer homogenen Verteilung der Aktivität in einer homogenen Abfallmatrix aus. Diese Annahmen treffen in der Praxis aber oftmals nicht zu, weshalb im Rahmen der Überarbeitung der Norm unter anderem die Abschätzung der Messunsicherheit, die grundlegende konzeptionelle Beschreibung eines Verfahrens zur Bestimmung der Messunsicherheiten, insbesondere bei erkennbaren Abweichungen vom Kalibrierstandard (homogen/heterogen), und der Einfluss der verschiedenen Parameter hinsichtlich Messtechnik (z. B. Scanparameter) als auch der Abfalleigenschaften (z. B. Füllstand) Berücksichtigung finden sollen. Für den Teilaspekt der Messung in offener Geometrie wurden Webseiten erstellt zur Vermittlung der erforderlichen Grundlagen (Auswertemodell und dessen Herleitung etc.), der allgemeinen Beschreibung der DIN 11929 zur Bestimmung von Messunsicherheiten für das Modell bei Kernstrahlungsmessungen und dessen Umsetzung zur Bestimmung der Messsicherheit einer Messung in offener Geometrie. Zusätzlich wurden interaktive Webseiten zur Berechnung der Messunsicherheit und zur Untersuchung der Auswirkung von Parametern auf modellspezifische Korrekturfaktoren erstellt.

Ein wesentlicher Aspekt des Vorhabens und sein Alleinstellungsmerkmal ist die Bereitstellung (kommerzieller) Software mit der Möglichkeit zur Durchführung (realer) Messungen durch registrierte Nutzer. Hier wurden umfangreiche Verbesserungen an der Netzwerkinfrastruktur und der Datenübertragungsstabilität vorgenommen, u. a. durch Überwachung und automatische Neustartfunktionen bei unterbrochenen Messdatentransfers an externe Nutzer. Ebenso wurde das zur Verfügung stehende Gamma-Spektrometrieprogramm LVis entsprechend optimiert. Diese Infrastruktur wurde im Rahmen eines online-Gamma-Spektrometrie-Praktikums genutzt. Für das dem Abschnitt „Gamma-Spektrometrie“ zugeordnete Praktikum wurde eine Webseite mit einer ausführlichen Anleitung zur Durchführung des Praktikums erstellt, ein Szenario beschrieben, welches einen Bezug zu einer realen Anwendung für die Durchführung der Messung herstellt, sowie benötigte Kalibrationsspektren generiert und in die Nutzerprofile geladen. Die für die Durchführung des Praktikums erforderliche Nutzung des Gamma-Spektrometrie-Programms LVis wird durch zahlreiche neu erstellte Kurzvideos unterstützt. Ende 2024 wurde das Praktikum erstmals von einer Gruppe von Studenten der TU München im Rahmen des Praktikums „Radioaktivität, Radioanalytik und Radiopharmakaproduktion“ durchgeführt.

Der bislang stattgefunden informelle Informationsaustausch zur Entwicklung von EducTUM wurde im zweiten Halbjahr 2024 auf eine offizielle Grundlage gehoben. Wurden bereits seit Vorhabenbeginn verschiedene Personen und Personenkreise über das Vorhaben informiert (u. a. durch Präsentation auf der KONTEC und vielen persönlichen Gesprächen) und Anregungen, Hinweise und Vorschläge gesammelt, wurden aus diesen Ansprechpartnern nunmehr zwei Beratergremien initiiert. Das sogenannte nationale Beratergremium berücksichtigt speziell die deutschen Belange, das internationale Beratergremium die eventuell abweichenden Belange aus dem (europäischen) Ausland. Bei der Auswahl der Mitglieder wurde versucht die unterschiedlichen Interessen (Anwender, Hersteller, Ausbildungs- und Dienstleistungsunternehmen, Sachverständige, Wissenschaftler etc.) soweit möglich einzubinden. Beide Gremien wirken beratend bei der Erstellung der Webplattform mit. Dies erfolgt unter anderem durch ungefähr monatlich versandte Informationen über die aktuellen Projektfortschritte, (virtuelle) Treffen mit den Zielen der Prü-

fung der Eignung der umgesetzten Entwicklungen für spätere Anwender sowie dem Einbringen von Vorschlägen für fehlende, ergänzende oder abzuändernde Inhalte.

Ein weiterer Punkt stellte die Überarbeitung und Konkretisierung des Verwertungskonzepts dar.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die durchgeführte Neugestaltung der Website und ihre Implementierung durch einen externen Dienstleister erhöhte den Zeitaufwand für die Implementation neuer Inhalte und Überarbeitung bestehender Inhalte deutlich. Aus diesem Grund besteht eine der vordringlichsten Arbeiten weiterhin in der Integration bereits existierender Inhalte aus dem früheren Layout und der Überarbeitung und weiteren Optimierung der bereits integrierten Seiten. Aufgrund der neuerlichen Evaluierung Anfang April 2025 werden zusätzlich Inhalte zu den Themenbereichen segmentiertes Gamma-Scanning für alle Nutzerebenen erstellt und implementiert. Sollte noch Zeit bleiben, könnten auch Inhalte in für weitere Bereiche eingestellt werden (z. B. Gamma-Scanning, Radio-graphie, Tomographie).

Der Messplatz wird voraussichtlich um einen HPGe-Detektor erweitert. Die seit längerem vorge-sehene Integration des LaBr3-Detektors soll nach dem Rücktransport vom Unterauftragnehmer; der aus zeitlichen Gründen bislang nicht realisierbar war, ebenfalls integriert werden. Die Anleitung des Praktikums wird anschließend entsprechend überarbeitet, um auch die beiden zusätzli-chen Detektoren zu berücksichtigen. Hierbei werden auch die Rückmeldungen der Studenten aus dem durchgeführten Praktikum berücksichtigt.

In 2025 ist geplant als weiteres Programm ein Auswerteprogramm für segmentierte Gamma-Scan-Messungen bereitzustellen. Da online-Messungen hier nicht möglich sind, werden entspre-chende gemessene Datensätze zur Verfügung gestellt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keiner

6. Berichte und Veröffentlichungen

09.07.2024: ENTRAP – Technical Meeting, Cadarache, Frankreich

03.09.2024: FORKA Statusseminar, Berlin

21.11.2024: ICOND 2024, Aachen

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 Fassgebinden, 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 €	
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing Sascha Gentes		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Sascha.gentes@kit.edu	

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 Fassgebäude 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 Fassgebüdes oder äußerlichen Veränderungen der Oberfläche. Wenn innere Schäden jedoch äußerlich bereits zu erkennen sind, ist die Integrität des beschädigten Fassgebüdes 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 mittelfradioaktiven Abfallgebüden.

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 ührt 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 Landes-sammelstelle 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)

In den Halbjahreszeitraum fallen die Arbeitsprogrammpunkte 3, 4, 5 und 6. Durch den personellen Wechsel aufseiten des KITs fand im August zunächst eine intensive Einarbeitung in das Projekt statt.

Mit den erlangten Erkenntnissen wurden verschiedene Konzepte entwickelt und entsprechend erste Angebote angefragt. Hierdurch wurde sich auf zwei Konzepte zur Vorstellung im 5. Projekttreffen am 11.10.2024 in Berlin festgelegt. Dieses fand zusätzlich zu den alle zwei Wochen stattfindenden Online-Meetings statt. Während des Projekttreffens wurde sich final für eins der beiden Konzepte entschieden, welches seitdem immer weiterentwickelt wird und Angebote eingeholt werden.

Für die Softwareentwicklung wird sich derzeit mit verschiedenen Anbietern ausgetauscht, um zu evaluieren, ob eine All-In-One Softwarelösung der beste Weg ist oder es sich lohnt, für jeden Teilabschnitt individuelle Lösungen zu finden/entwickeln und diese letztendlich zusammenzuführen. Derzeit findet hierzu auch ein Austausch mit verschiedenen Automatisierungsdienstleistern statt, die anbieten, den Bau und die Einrichtung des Containers vollständig zu übernehmen. (AP 3, 5 und 6)

Da die Freimessung des Demonstrators essenziell ist, um diesen nach der Praxisphase in Berlin wieder zurück ans KIT zu bringen, wird diese in der Entwicklung intensiv berücksichtigt, um diese möglichst einfach umsetzen zu können. Hierzu wurde sich bereits mit verschiedenen Experten ausgetauscht, die sich schon mehrere Jahre mit der Thematik befassen. Dadurch soll mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit verhindert werden, dass Bauteile nach dem Praxiseinsatz nicht mehr aus dem Kontrollbereich können. (AP 6)

Die Erkenntnisse der Projektpartner werden in allen Phasen der Bearbeitung berücksichtigt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Mit dem Erreichen des ersten Meilensteins Ende Februar soll der Entwurf des Demonstrators fertig gestellt und Kostenschätzung und -voranschläge vorhanden sein (AP 6). Für die Softwareentwicklung wird ein konkretes Anforderungsprofil fertiggestellt, um mit Partnern und möglichen Kooperationspartnern das gewünschte Ziel möglichst konkret zu beschreiben (AP 5). Mit Kenntnis des ZfP-Verfahrens können die APs 6 und 7 abgeschlossen und mit dem Bau des Demonstrators (AP 8) begonnen werden, der entweder mit einem Dienstleister oder mit dem eigenen Werkstattpersonal erfolgt.

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

- Aktualisierung der Kurzbeschreibung auf der Homepage des TMB:
https://www.tmb.kit.edu/Forschungsprojekte_7870.php

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9446B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)		
Vorhabenbezeichnung: VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebin- den, TP: Untersuchung und Bewertung der Eignung verschiedener ZfP-Verfahren, sowie Hard- und softwaremäßige Unterstützung bei der Integration von ZfP-Verfahren in den Demonst- rator.		
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2023 bis 31.08.2026		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 289.823,13 €
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Julien Lecompañon		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 mittelfradioaktiven 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 Fassgebinden 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)

Am 11.10.2024 fand in den Räumlichkeiten der BAM in Berlin das 5. Projekttreffen statt. Neben der Besprechung des aktuellen Arbeitsprogramms und der Planung der nächsten Schritte gab es die Möglichkeit, die Räumlichkeiten für Ultraschall- und elektromagnetische Prüfung zu besichtigen und sich einen Überblick über die Technik zu verschaffen. Zusätzlich zu den Haupttreffen wird regelmäßig alle zwei Wochen ein Online-Meeting durchgeführt. Ziel der Treffen ist es, trotz räumlicher Distanz den Austausch zwischen den Partnern zu stärken.

Es wurden regulär keine Arbeitspakete im Berichtszeitraum abgeschlossen.

Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten im Arbeitspaket AP3 „Bestimmung des Parameter-raums“ fortgesetzt. Hierfür wurden an verschiedenen realitätsnahen Probekörpern (Fassabschnitten mit künstlichen Defekten und Korrosionserscheinungen, sowie neuwertigen Lagerfässern) aktiv thermografische Prüfverfahren mit Laser- und Induktionsanregung, elektromagnetisch induzierte Ultraschallprüfung, sowie elektromagnetische Prüfung evaluiert. Für laserangeregte thermografische Prüfung ließen sich dabei bereits zufriedenstellende Testergebnisse erzielen (vgl. Abbildung 1).

Für die ausgewählten akustischen und elektromagnetischen Verfahren, EMAT, laserangeregter Ultraschall (Laser-UT), Wirbelstromprüfung (ET) und sensorbasierte Streuflussprüfung (GMR-MT) wurden an zwei Proben (Fassabschnitten mit künstlichen Defekten und Korrosionserscheinungen) erste Untersuchungen durchgeführt.

Bei der Prüfung mit EMAT an den Proben ergaben sich unerwartet Probleme, da an den zur Verfügung gestellten Proben keine eindeutige Waddickenbestimmung möglich war. Es wird vermutet, dass die auf den Fässern aufgetragene Lackierung die Schallerzeugung in einem Maße beeinträchtigt, die deutlich über dem erwarteten Einfluss durch die Dicke der Farbschicht liegt. Weiterhin ist der verwendete Werkstoff der Proben nicht ausreichend bekannt, insbesondere dessen magnetische Eigenschaften und der damit verbundene Einfluss auf das Prüfsignal. Hier wird aktuell evaluiert, ob sich dies auf die zum Test zur Verfügung stehenden Probekörper beschränkt oder ob ein systematisches Verhalten vorliegt.

Grundsätzlich zeigte sich bei der Anwendung des Laser-UT, dass die notwendige Intensität des Laserpulses zur Generierung des Ultraschallsignales in einer Größenordnung lag, die eine Beschädigung der Lackschicht zur Folge hat. Die finale Evaluierung der akustischen und elektromagnetischen Prüfungen steht noch aus.

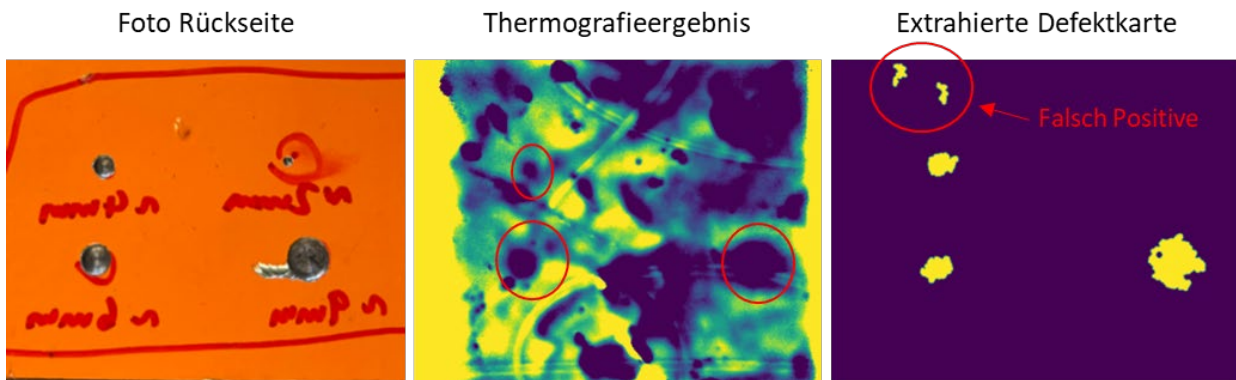


Abbildung 1: Foto der Rückseite eines Fassabschnitts mit künstlichen Defekten (links); Testergebnis aktiver thermografischer Prüfung der Vorderseite (mitte); Defektsegmentierung mittels maschinellen Lernens (rechts). Trotz starker Störsignale im Thermogramm durch verschiedene Oberflächeneinflüsse lassen sich die künstlichen Defekte durch im Projekt entwickelte Segmentierungsmethoden detektieren.

Weiterhin wurde mit dem Arbeitspaket AP4 „ZfP-Auswahl“ begonnen, für welchen die bisherigen Prüfergebnisse systematisch zusammengetragen werden, um eine Abwägung der einzelnen Prüfmethoden gegeneinander für die finale Prüfsystemauswahl zu ermöglichen.

Im Rahmen des Arbeitspaketes AP5 „Softwareentwicklung“ wurden bisher neuartige Auswerterroutinen speziell für die aktive Thermografie entwickelt, die resistent gegenüber den komplexen Oberflächenzuständen von Lagerfässern sind. Hierbei sind vor allem Verschmutzungen, Beschädigungen und Markierungen zu nennen, die die thermografischen Messergebnisse überlagern. Ein beispielhaftes Ergebnis für eine solche notwendige Datenaufbereitung findet sich in Abbildung 1 dargestellt.

Zudem wurden die bisher erlangten Erkenntnisse und das Know-how im Bereich der ZfP im Arbeitspaket AP6 „Konzeptionelles Systemdesign“ eingebracht, welches zum Ziel hat eine Spezifikation und ein Design für die spätere Demonstratoranlage zu entwickeln.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Im nächsten Berichtszeitraum steht zentral der Abschluss des Arbeitspaketes AP4 „ZfP-Auswahl“, welches mit dem ersten Meilenstein im März 2025 abschließt. Weiterhin soll in AP5 an der Weiterentwicklung der Auswerterroutinen gearbeitet werden, um diese am Ende auch automatisiert in der Demonstratoranlage einsetzen zu können. Am Design und Bau dieser Demonstratoranlage wird im nächsten Berichtszeitraum in den Arbeitspaketen AP6 „Konzeptionelles Systemdesign“, AP7 „Komponentenzusammenstellung“ und AP8 „Bau des Demonstrators“ mitgewirkt.

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

Am 19.09.2024 wurden die Aktivitäten im Projekt ZIKA den Projektteilnehmern des Projektes „Component Operational Experience, Degradation and Ageing Programme (CODAP)“ der OECD/NEA im Rahmen einer Technical Tour auf dem Gelände der BAM vorgestellt.

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9446C	
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Kraftanlagen Heidelberg GmbH			
Vorhabenbezeichnung: VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebin- den, 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: 64.664,89 €	
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 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 Fassgebäude 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 Fassgebüdes oder äußerlichen Veränderungen der Oberfläche. Wenn innere Schäden jedoch äußerlich bereits zu erkennen sind, ist die Integrität des beschädigten Fassgebüdes 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 mittelfradioaktiven Abfallgebüden.

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)

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

Im Berichtszeitraum wurden im Arbeitspaket AP3 „Bestimmung des Parameterraums“ diverse Prüfverfahren an realitätsnahen Proben evaluiert, wobei bei EMAT und Laser-UT Probleme auftraten. Erste zufriedenstellende Ergebnisse gab es bei der laserangeregten thermografischen Prüfung. Neue Auswerteroutinen für die Thermografie wurden im Arbeitspaket AP5 „Softwareentwicklung“ entwickelt.

Das Arbeitspaket AP6 „Konzeptionelles Systemdesign“ arbeitet an der Spezifikation und dem Design der Demonstratoranlage, zu der verschiedenen Konzepte entwickelt und beim Projekttreffen präsentiert worden sind. Ein Konzept wurde zur Weiterentwicklung ausgewählt. Zur Softwareentwicklung werden mögliche All-In-One Lösungen und individuelle Ansätze geprüft. Die Freimessung des Demonstrators wird in der Konzipierung mit großem Augenmerk berücksichtigt, um ihn nach der Praxisphase im Kontrollbereich der ZRA problemlos herauszubringen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

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

Mit dem Erreichen des ersten Meilensteins Ende Februar soll der Entwurf des Demonstrators fertig gestellt sein (AP 6). Auch soll dann das AP4 abgeschlossen werden, sodass mit die Arbeitspakete AP7 „Komponentenzusammenstellung“ und AP8 „Bau des Demonstrators“ in den Fokus genommen werden können.

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

- Aktualisierung der Kurzbeschreibung auf der Homepage des TMB:
https://www.tmb.kit.edu/Forschungsprojekte_7870.php
- Am 19.09.2024 wurden die Aktivitäten im Projekt ZIKA den Projektteilnehmern des Projektes „Component Operational Experience, Degradation and Ageing Programme (CO-DAP)“ der OECD/NEA im Rahmen einer Technical Tour auf dem Gelände der BAM vorgestellt.

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 30.04.2026		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 414.525,95 €
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 Boden-organismengemeinschaften 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 Biosphären-modelle.

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 (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In den ersten Tagen des Berichtszeitraumes wurde eine dreitägige Summer School mit Referierenden aus dem In- und Ausland sowie insgesamt 28 Teilnehmenden in Jena durchgeführt. Teilnehmende waren einerseits Teil des TRAVARIS-Konsortiums, als auch anderer BMBF geförderter Projekte. Die Summer School erfüllt einen wesentlichen Teil des Punktes 3.5 „Aktivitäten zur [...] Aus- und Weiterbildung und zur Förderung des wiss. Nachwuchses“ der Vorhabenbeschreibung und trug maßgeblich zum Austausch und der konstruktiv kritischen Diskussion im Projektkonsortium bei.

Im Kontext des AP1 wurden die Laborlysimeter planmäßig weiter mit Grimsel (GTS) – Grundwasser bei 20°C betrieben und physikochemische sowie hydraulische Parameter im Monitoring überwacht. Dabei kam es zu zeitweilig kurzen Ausfällen der Datenaufzeichnung durch technische Probleme. Im Rahmen einer studentischen Qualifikationsarbeit (BA) wurde der Wasserspiegel über vier Wochen inkrementell um 4 cm auf 24 cm unter Bodenoberfläche angehoben (AP1). Porenwässer wurden wöchentlich beprobt und nebst Routineanalytik für Kationen, Anionen und DOC mittels spezieller Kolloidanalytik (Asymmetrische Fluss-Feldfluss-fraktionierung, AF4) untersucht. Kolloidale Phasen in Porenwässern zeigten ein deutliches Peakmaximum zwischen 9 nm und 15 nm, was deutlich unter der Nachweisgrenze der bisher verwendeten Nanoparticle Tracking Analysis (NTA) liegt. Redoxbedingungen wurden indirekt über redoxensitive Spezies (Fe, Mn und S) untersucht. Vor allem in 18 cm Tiefe, im Bereich der größten Wasserspiegelschwankung, zeigte S eine verzögert sinkende Porenwasser-konzentration und Mn eine steigende. Kolloidanzahlkonzentrationen unterlagen einer Dynamik, die auf sowohl auf eine Änderung im Redoxmilieu hindeuten könnten als auch auf einen Transport aus Probenahmetiefe 3, wo konstant reduzierende Bedingungen vorherrschten.

Es erfolgte eine Einarbeitung in die HYDRUS Software (AP2) und die dazugehörigen Add-On-Module sowie das Softwarepaket PhreeqcRM für die Kopplung von PHREEQC mit eigenen Transportmodellen.

Im Zuge weiterer Vorexperimente zur Bepflanzung der Lysimeter (AP3) wurden zwei studentische Qualifikationsarbeiten (MA, Projektmodule) begonnen. Einerseits wurde das Langzeitexperiment zur Selen-Organik-Illit-Interaktion nach ca. 1.5 Jahren charakterisiert (FFF-ICP, LC-OCD) und mit systematischen Experimenten zum Verständnis von Rhizosphärenprozessen fortgeführt. Andererseits wurden basierend auf der Diskussion der Summer School Wurzelexsudate der Buschbohne (*Phaseolus vulgaris* var. *nanus*) beprobt und charakterisiert (LC-OCD und SEC-UV-Fluoreszenz) sowie deren Interaktion mit Selenit untersucht. Die Ergebnisse folgen im kommenden Berichtszeitraum.

Im Rahmen des AP4 wurde in Zusammenarbeit mit LUH-IRS eine Probenahme des Bodenmaterials des RefeSol 01A aus dem A-, B- und C-Horizont gewonnen. Die Proben wurden zum Trocknen und zur Weiterverarbeitung zum Partner FSU verbracht.

Auf Basis von am IRS durchgeführten Batch-Versuchen gelang eine robustere Validierung des UNiSeCs Teilmodells für die Selen-Sorption (AP5), wodurch datenbedingte Lücken in der vorherigen Validierungsstudie gefüllt werden konnten.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Das Absenken des Wasserspiegels wird zum Beginn des nächsten Berichtszeitraumes mit einer vorangehenden Referenzprobenahme durchgeführt. Die ablaufenden Prozesse werden über frequente Porenwasserprobenahmen überwacht, was durch eine gewonnene studentische Assistenz unterstützt wird. Das weitere Potenzial der AF4 wird im kommen-

den Berichtszeitraum basierend auf einer Methodenoptimierung hinsichtlich der besseren Auflösung im einstelligen nm-Bereich für Porenwasserproben optimiert.

AP2: Es erfolgt eine weitere Einarbeitung im HYDRUS-Moduls C-Ride und eine erste Implementierung experimenteller Kolloiddaten.

AP3: Die Interaktion von Se im ternären System mit Illit und extrahierter organischer Substanz wird weiterhin unter Verwendung spezieller Kolloidanalytik durchgeführt und durch Einbeziehung von Mikroorganismen im Rahmen eines weiteren Projektmoduls (Master) komplementiert. Topfexperimente mit *Phaseolus vulgaris* werden voraussichtlich im zweiten Berichtszeitraum 25 durchgeführt werden.

AP4: Das gewonnene Bodenmaterial der verschiedenen Horizonte wird weiter aufbereitet und zur Verwendung in Säulen umfassend charakterisiert. Säulenexperimente sollen in der zweiten Hälfte des ersten Berichtszeitraumes 25 durchgeführt werden.

AP5: In Anlehnung an die Planung im vergangenen Berichtszeitraum, soll der subsequeunte Transport von Radionukliden und Homologen aus dem Grundwasser in den C-Horizont und folgend in den B- und A-Horizont mittels UNiSeCs-Modell für den Unterboden validiert werden.

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

Schmidt-Vanderheyden, L. J. (2024). Bachelorarbeit, BBGW, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024	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, TP: Remobilisierung von Radionukliden [..], Charakterisierung mikrobieller Diversität im Bo- den 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: Die aus den Lysimetern gewonnenen Bohrkern mit einer Länge von 40 cm wurden auf ihre Radionuklidgehalte hin analysiert. Für I-125 konnte ein Maximum der Aktivität in 12-16 cm Tiefe festgestellt werden, während für Am-243 alle Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Die Auswertung für das Tc-99-Lysimeter steht noch aus. Aufgrund der kurzen Halbwertszeit des I-125 wird das Lysimeter abgetragen und ausgewertet.

AP-2a: Die Zusammensetzung und Vielfalt der mikrobiellen Gemeinschaft der getracerten und der Kontrollproben aus den Rhizoboxen zeigen Unterschiede, diese sind jedoch nicht signifikant. Die Tracermengen, die maximal für die Untersuchungen eingesetzt werden können, verursachen allerdings auch Dosen, die weit unter der Toleranzgrenze von Mikroorganismen liegen. Die aus verschiedenen Tiefen der drei vorgenannten Lysimeter entnommenen Proben (Bohrkerne) wiesen Unterschiede in der mikrobiellen Zusammensetzung in Abhängigkeit von den Redox-Verhältnissen in verschiedenen Tiefen auf.

AP-3a: Die Analyse der einzelnen Pflanzenkompartimente von Tomate und Paprika aus Gefäßexperimenten auf ihre I-125- bzw. Tc-99-Aufnahme aus Referenzböden wurde fortgeführt. Zudem wurden im Rahmen einer Masterarbeit weitere Aufnahmeexperimente mit Bohnen unter Verwendung von 'gealtertem' Boden durchgeführt. Es handelt sich um bereits vor längerer Zeit mit Radionukliden (Tc-99, Pu-238, Am-243) beaufschlagte Referenzböden (RefeSol 01-A und 03-G).

AP-4a: Die Versuche, Buschbohnen (*P. vulgaris*) und Tomaten (*S. lycopersicum*) auf den bereits mehrere Jahre laufenden Lysimetern zu etablieren, blieben bislang erfolglos.

AP-1b: Klonierungsarbeiten für CRISPR-Cas9-Vektoren für IRT1 in Tomate (*S. lycopersicum*) sind fortgeschritten und zum Teil schon abgeschlossen. Es wurden zunächst Homologe aus Tomate zu dem IRT1 aus *A. thaliana* identifiziert. Hier ergaben sich drei verschiedene Proteine, gegen die jeweils guideRNAs designt wurden. Zu den Single-Knockouts sollen auch Double- und Triple-Knockout-Vektoren kloniert werden. Die Vektoren für die Single Knockouts sind bereits fertig und wurden durch ein Full-Plasmid-Sequenzierung validiert.

AP-2b: Am-Aufnahme Experimente mit den BY-2 Zellen müssen wiederholt werden. Erfolgreiche Etablierung der cDNA-Synthese sowie Primer für qualitative Reverse-Transkriptase-PCR zur Expressionsanalyse (IRT1, Housekeeper EF1 α). Damit Nachweis einer erhöhten IRT1-Expression auf mRNA-Ebene in BY-2 Zellen nach Induktion eines Fe-Mangels für drei Tage (Analyse mittels $2\Delta\Delta\text{ct}$ -Methode). Erste Versuche zur Protein-Isolation und anschließendem Western Blot waren noch nicht erfolgreich. Beginn der Etablierung eines Calcein-Basierten Eu-Uptake-Assays. Eu³⁺ quencht die Fluoreszenz von Calcein, daher sollte bei verstärkter Aufnahme des Eu³⁺ durch die Zellen die Konzentration des Eu³⁺ im Medium abnehmen und Calcein weniger stark gequencht werden.

AP-3b: Wiederholung der Am-Aufnahme-Versuche nach Fe-Defizienz-Induktion mit *A. thaliana* Wildtyp und IRT1-Knockout-Mutanten mit neuer Medienzusammensetzung. Ergebnis noch ausstehend. Erfolgreiche Etablierung der cDNA-Synthese sowie Primer für qualitative Reverse-Transkriptase-PCR zur Expressionsanalyse (IRT1, Housekeeper PP2AA3). Erste Versuche zur Protein-Isolation und anschließendem Western Blot waren noch nicht erfolgreich. Beginn Erlernen der Tissue-Culture-Methode zur Erzeugung von Knockout-Tomatenpflanzen. Dazu gehört die Herstellung kompetenter *Agrobacterium tumefaciens*, die Transformation dieser mit den erstellten

CRISPR/Cas9-Vektoren sowie die Infizierung von Pflanzen-Callus mit den transformierten Bakterien.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP-1a: Nach dem schichtweisen Abtragen des I-125-Lysimeters sollen neben der reinen Messung des Radionuklidgehalts auch Extraktionsversuche an ausgewählten Schichten durchgeführt werden, um einen besseren Einblick in die Art und Stärke der Sorption im Boden zu bekommen. Die übrigen Lysimeter (Tc-99, Am-243, Se-75) werden weitere 6 Monate im Normalbetrieb belassen.

AP-2a: Die Analyse der Sequenzierungsergebnisse aus Gefäßversuchen mit Tomaten und Paprika wird ausgewertet. Die mikrobielle Vielfalt in Gefäßexperimenten mit Wildtyp- und Knockout-Arabidopsis-Pflanzen wird untersucht. Um den Einfluss von Radionukliden auf die Ausscheidung von Wurzelexsudaten zu untersuchen, ist eine Charakterisierung der Wurzelexsudate mittels Orbitrap geplant.

AP-3a: Die Analysen der Pflanzenproben auf ihren Radionuklidgehalt sollen abgeschlossen werden.

AP-1b: Beendigung der Klonierungsarbeiten zum IRT1 Transporter. Beginn Klonierungsarbeiten zu verschiedenen PHT1 Transportern.

AP-2b: Wiederholung Americium-Aufnahme-Versuche BY-2 nach Fe-Mangelinduktion mit angepassten EDTA-Konzentrationen. Etablierung und Durchführung des Calcein-basierten Eu^{3+} -Uptake-Assays nach Induktion eines Eisenmangels. Weitere Versuche zur Proteinisolation und Nachweis der Proteinmenge des IRT1 Transporters.

Masterarbeit Julia Peuker: Expressionsanalyse GLRs in BY-2 Zellen, nach Exposition zu verschiedenen Lichtquellen. Calcium-Imaging-Messungen. Ziel ist die Erarbeitung eines Kultivierungsmodells, in dem die Expression von GLRs verstärkt wird, um später damit RN-Aufnahme-Experimente durchzuführen.

AP-3b: Wiederholung der Americium-Aufnahme-Experimente nach Fe-Mangelinduktion mit dazugehöriger Expressionsanalyse des IRT1. Anwendung des Calcein-basierten Eu^{3+} -Uptake-Assays analog zu AP-2b. Durchführung der Tissue Culture zur Erzeugung von IRT1-Knockout-Tomaten.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

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

ganismus für die Expression einzelner Ionentransporter dienten die Oozyten des Frosches *Xenopus laevis*.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Konferenzbeitrag NRC10 / Brighton, 08/2024 (Tim Schmalz): 'Migration of Technetium-99 in German reference soils' (Poster)

Konferenzbeitrag NRC10 / Brighton, 08/2024 (Nils Sassenberg): 'Investigation of the migration behavior of I-125 using a laboratory lysimeter with reference soil' (Vortrag)

Konferenzbeitrag ICRER 2024 (Tarequl Nishad): 'Investigating the transport behavior and uptake of ^{125}I and ^{99}Tc considering the influence of plant-microbe interactions' (Poster)

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 30.04.2026		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 473.892,37 €
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 Wurzel-ausscheidungen 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 Boden-organismengemeinschaften 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 (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Organisation und Durchführung des Verbundprojekttreffens in Dresden (28./29.10.2024)

AP-1: Experimente zur Bestimmung des Einflusses von Uran (U) und Äpfelsäure (Vertreter für Wurzelexsudate) auf die mikrobielle Diversität im Referenzboden Refesol-01A wurden in Gegenwart einer höheren U-Konzentration fortgeführt. Der Boden wurde mit U(VI)-haltigem synthetischem Bodenwasser ([U(VI)]: 200 µM) in An- bzw. Abwesenheit von Äpfelsäure über einen Zeitraum von 28 Tagen inkubiert. Die nach definierten Zeitintervallen aus dem Boden extrahierte DNA wird mittels Next Generation Sequenzierung der V4 Region des 16S rRNA-Gens von Bakterien und der ITS (internal transcribed spacer) Region der rRNA von Pilzen analysiert.

AP-2: *Mesorhizobium* sp. DNB0012 wurde zusammen mit anderen Mikroorganismen in Reinkultur aus U kontaminiertem Refesol-01A Boden isoliert und für weitere Untersuchungen zu dessen Wechselwirkung mit U und Wurzelexsudaten ausgewählt. Die Wachstumskurve von *Mesorhizobium* sp. DNB0012 wurde in flüssigem TY-Medium bestimmt und Experimente mit U und Äpfelsäure vorbereitet.

AP-3: Die Arbeiten zur Charakterisierung der Komplexbildung von Europium (Eu(III); Analogon für dreiwertige Actinide) mit Bernsteinsäure als Stoffwechselprodukt von Pflanzen und Bakterien mittels zeitaufgelöster laserinduzierter Fluoreszenzspektroskopie (TRLFS), isothermer Titrationskalorimetrie (ITC) und Kernspinresonanzspektroskopie (NMR) wurden im Rahmen einer Masterarbeit fortgeführt. Dabei konnten die Stöchiometrie, die Struktur sowie die zugehörige Stabilitätskonstante des 1:1 Eu(III)-Succinat-Komplexes ermittelt werden. Darüber hinaus wurde die Stöchiometrie sowie eine vorläufige Stabilitätskonstante des 1:2 Eu(III)-Succinat-Komplexes ($\text{Eu}(\text{Suc})_2^-$) bestimmt.

AP-5: Zur Verifizierung von Transportwegen für RN in Pflanzen wurden genetisch modifizierte *Arabidopsis thaliana* Pflanzen, die eine T-DNA Insertion im Gen der Transporter GLR3.3, GLR3.6 oder IRT1 tragen und somit kein funktionsfähiges Protein ausbilden können, sowie der Wildtyp Columbia (Col-0) kultiviert. Die Aufnahme von Eu(III) (Analogon für dreiwertige Actinide) und Ca(II) in GLR3.3, GLR3.6 Mutanten sowie von Eu(III) und Fe(III) in IRT1 Mutanten wurde mit dem Wildtyp verglichen. Nach einer 24 stündigen Eu(III)-Exposition zeigten die GLR3.3 und GLR3.6 Mutanten keine statistisch signifikanten Abweichungen in der Aufnahme von Eu(III) im Vergleich zum Wildtyp (Col-0). Es konnte jedoch die Tendenz einer verringerten Eu(III)-Aufnahme in IRT1-Mutanten beobachtet werden. Dies ist ein Hinweis für die Eu(III)-Aufnahme in *A. thaliana* Pflanzen über den IRT1-Transporter. Da eine Aufnahme von U(VI) über den IRT1 Transporter basierend auf Literaturdaten ausgeschlossen werden kann, erfolgen die Untersuchungen zur U(VI)-Aufnahme nur mit den Mutanten GLR3.3 und GLR3.6.

AP-6: Die Untersuchungen zur Aufnahme von U(VI) (20, 200 µM U(VI)) in hydroponisch kultivierte *Phaseolus vulgaris* (Buschbohne) Pflanzen wurden fortgesetzt. In Gegenwart von U zeigen die Pflanzen phänotypische Veränderungen, die einer eingehenden Untersuchung unterzogen werden. Spektroskopisch wurden Veränderungen der U(VI)-Speziation in Lösung detektiert, die auf eine U-Komplexierung durch freigesetzte Wurzelexsudate hinweisen. Wurzelexsudate wurden aus dem Medium von U-exponierten Pflanzen gewonnen und werden mittels Hochdruckflüs-

sigchromatographie analysiert. Darüber hinaus erfolgte die Analyse von Wurzelexsudaten U(VI)-exponierter und nichtexponierter *P. vulgaris* Pflanzen mittels Non-Target Screeninganalyse (AFIN-TS GmbH). Erste Auswertungen zeigen, dass die U-Exposition Veränderungen in den ausgeschiedenen Wurzelexsudaten induziert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP-1: Bestimmung des Einflusses von U auf die mikrobielle Diversität im Refesol-01A Boden in An- und Abwesenheit von Äpfelsäure (Bestimmung von Bakterien und Pilzen)

AP-2: Untersuchung der Wechselwirkung von *Mesorhizobium* sp. DNB0012 mit U und Äpfelsäure mit dem Fokus auf U-Bioassoziation und –Toxizität, U-Speziation und -Lokalisation sowie den Abbau von Äpfelsäure

AP-3: Abschluss der Arbeiten zur Eu(III)-Komplexierung mit Bernsteinsäure mit der Charakterisierung eines experimentell beobachteten Eu(III)-Succinat-Niederschlags; Untersuchung der Komplexierung von Eu(III) mit Glutarsäure mittels TRLFS, ITC und NMR und Bestimmung thermodynamischer Daten

AP-5: Fortsetzung der Untersuchungen zur Rolle der GLR3.3, GLR3.6 und IRT1 Transporter für die U(VI)- bzw. Eu(III)-Aufnahme in Pflanzen

AP-6: Identifizierung von Wurzelexsudaten U(VI)- und Eu(III)-exponierter und nichtexponierter *P. vulgaris* Pflanzen

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Das Projekt TRAVARIS schließt sich an das vom BMBF-geförderte, abgeschlossene Verbundvorhaben TRANS-LARA an. Die Arbeiten des HZDR (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

Vorträge - 1st European Radioecology Alliance Young Researchers Webinar 2024, 19.09.2024:

Mätzkow, J.M. et al.: Interaction of Eu(III) with *Phaseolus vulgaris* plants.

Linares-Jiménez, R.E. et al.: Structures and thermodynamics of the uranyl(VI) – malic acid system: a multi-technique approach. (1. Preis in der Kategorie “1./2. Jahr der Promotion”)

Poster - NRC10, Brighton, Great Britain, 25.-30.08.2024:

Linares-Jiménez, R.L. et al.: Structures and thermodynamics of the uranyl(VI)-malic acid system: a multi-technique approach.

Poster - 6th International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity, 24.-29.11.2024, Marseille, France:

Mätzkow, J.M. et al.: Bioassociation of europium by *Phaseolus vulgaris* plants.

Linares-Jiménez, R.E. et al.: How do uranium and malic acid affect the microbial community in a reference soil? (2. Posterpreis)

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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, TP D: Radioökologische Modellierung		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 30.04.2026		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 324.912,58 €
Projektleiter/-in: Veronika Ustohalova		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: v.ustohalova@oeko.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Transportprozesse potenziell freigesetzter langlebiger Radionuklide (RN) aus einem Endlager für radioaktive Abfälle über den Wasserpfad und den Boden bis in Pflanzen und damit in die Nahrungskette des Menschen müssen für die Langzeitprognose eines Endlagersystems bekannt sein und sind integraler Bestandteil radioökologischer Berechnungen zur Dosisabschätzung. Untersuchungen zu RN-transport, -speziation und -partitionierung im Boden sowie der RN-aufnahme in Pflanzen, als auch Modelle zur Beschreibung dieser Prozesse berücksichtigen bisher kaum den Einfluss von Mikroorganismen und nanopartikulärer Phasen. Pflanzen modifizieren über Wurzel-ausscheidungen u.a. Mikroorganismengesellschaften so wie 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 Boden-organismengemeinschaften 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

Übergreifend: Begriff ECOLEGO ersetzt durch AFRY Intelligent Scenario Modelling oder AFRY-Scenario-Modelling

AP-1: Abstimmung zum Ablauf der Lysimeterexperimente mit schwankenden Wasserständen und zu Umlaufsäulenexperimenten hinsichtlich der Übertragbarkeit der Prozesse und Parameterwerte in das AFRY Intelligent Scenario Modelling / Modellteil „Bodentransport“.

AP-2: Prüfung der Übertragbarkeit der Porenraummorphologie und der Hysterese (3D-HYDRUS) in das AFRY Intelligent Scenario Modelling / Modellteil „Bodentransport“.

AP-3: Abbildung der K_d -Wert-Variabilität im AFRY Intelligent Scenario Modelling / Modellteil „Bodentransport“ unter Einfluss von Mineralphasen, Organik und des pH-Wertes in Anlehnung an das „Smart- K_d -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 AFRY Intelligent Scenario Modelling / Modellteil „Bodentransport“.

AP-5: Erweiterung des AFRY Intelligent Scenario Modelling / Modellteil „Pflanze“ im Hinblick auf die Ergebnisse der Experimente des HZDR-IRE und des LUH-IfB.

AP-6: Erweiterung des AFRY Intelligent Scenario Modelling / Modellteil „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)

AP1: Dem Austausch und der Weiterbildung zu spezifischen Themenbereichen des Projektes diene die TRAVARIS Summer School im Juli in Jena. Im Rahmen des Meetings wurden im Anschluss der Stand der Experimente sowie die Zwischenergebnisse der Modellierung mit AFRY-Szenario-Modelling und PHREEQC besprochen. Das Vorgehen zur Verzahnung der TRAVARIS-Modellansätze mit der Modellierung der Projektpartnern (UB, FSU-AnGeo) wurde abgestimmt. Weiterem Austausch diene das Projekttreffen beim HZDR / Dresden Rossendorf im Oktober. Es werden laufend die sich im Verlauf der Experimente mit den Wasserspiegelschwankungen (FSU-AnGeo) ergebende Fragen sowie die Pflanzenexperimente (LUH-IRS) besprochen.

AP2: Im November fand ein Online-Treffen mit den Projektpartnern FSU-AnGeo und UB zur Modellierung der Hysteresis mit HYDRUS/ AFRY-Szenario-Modelling und der K_d -Wert-Variabilität (AP3) statt. FSU-AnGeo hat auch über Batch-Experimente mit allen RefeSol-Böden zur Untersuchung der K_d -Wert-Änderungen von Selen berichtet. Im AFRY-Szenario-Modell ist zunächst ein vereinfachender Ansatz der linearen Diffusivität-Wassergehalt-Beziehung eingebaut, welcher rechnerisch im Mehrschichtmodell geprüft wurde. Zur Prüfung der Parameter der Retentionsfunktion wurde 1/2D-HYDRUS am Öko-Institut installiert.

AP3: Die Batch-Experimente mit RefeSol-Böden zur Untersuchung der K_d -Wert-Änderungen von Selen am FSU-AnGeo (siehe AP2) ermitteln den Einfluss von Selen- und P-Konzentration sowie von pH-Wert auf das Sorptionsverhalten. Die Ergebnisse dienen der Validierung des PHREEQC-Modells (UB). Die somit untersuchte K_d -Wert-Variabilität fließt in die Lookup-Tabellen im AFRY-Szenario-Modell im Modellteil „Bodentransport“. Weitere zu implementierte Einflussparameter sind der organische und der mineralische Anteil. Es muss geklärt werden, inwiefern sich die zeitliche Abhängigkeit der Sorptionsvorgänge darstellen lässt und ob diese für die makroskalige Betrachtung (Dosisberechnung) relevant ist. Ein Bestandteil der Implementierung der K_d -Wert-Variabilität ist die Darstellung der Parameterunsicherheiten in Form von Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktionen (PDF) und die anschließende Monte-Carlo Simulation. Proberechnungen mit verschiedenen PDF-Funktionen wurden durchgeführt.

AP4: Numerisches Schema (Finite-Volumen-Methode) für die Richards-Gleichung und die Konvektions-Dispersions-Gleichung kann mittlerweile durch die Einführung verfeinerter Diskretisierung die Wasserspiegelschwankungen abbilden, die Rechenfälle zeigen plausible Ergebnisse.

Weitere Rechenfälle mit Randbedingung-/Parameteranpassungen wurden durchgeführt, die Randbedingungen widerspiegeln den aktuellen experimentellen Ablauf am FSU-AnGeo.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP-übergreifend: Im kommenden Jahr ist eine regelmäßige Überprüfung der Software-Features und deren Nutzung in der TRAVARIS-Modellierung geplant, welche von AFRY begleitet werden soll.

AP1: Informationsaustausch zu den Lysimeterexperimenten mit schwankendem Wasserspiegel und zu den Umlaufsäulenexperimenten mit FSU-AnGeo und LUH-IRS sowie mit UB zur PHREEQC-Modellfortentwicklung und Ergebnissen werden fortgesetzt.

AP2: Der vereinfachte Ansatz zur linearen Diffusivität–Wassergehalt-Beziehung wird in AFRY- Szenario-Modelling um die Option des realen Verlaufs der Wasserspannungskurve erweitert. Zunächst ist die Einführung der Parametrisierung nach van Genuchten (wie in HYDRUS) vorgesehen. Ob der Verlauf der Sorption und Desorption (im hydraulischen Sinne) softwaretechnisch implementiert werden kann, wird im Austausch mit Fa AFRY geklärt. Die Modellierung der Effekte der Hysteresis mit 3D-HYDRUS- am FSU-AnGeo sollte parallel dazu erfolgen.

AP3: Geplant sind: weitere Recherche zu Daten mit Blick auf die Optionen der Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Kd-Werte und anderer transportwirksamen Parameter. Die Lookup-Tabellen in AFRY-Szenario-Modelling werden um die Einflussparameter auf die Sorption (wie Organik oder Minerale) erweitert, dabei sind die Grenzen der darstellbaren Parameterabhängigkeiten in der Software AFRY-Szenario-Modelling zu berücksichtigen. Verschiedene Parameterkombinationen werden in Rechengängen auf die Plausibilität geprüft.

AP4: Rechenfälle zur Validierung des Modellteils „Boden“: Rechenfälle zum Wasser- und Radionuklidtransport werden mit gemessenen Datenwerten (FSU-AnGeo und ggf. LUH-IRS) durchgeführt; Aufbau der Schnittstellen zu den Modellteilen „Pflanze“ und „Exposition“.

AP5: Das Konzept zum Modellteil „Pflanze“ wird erweitert. Dazu werden die Ergebnisse der Experimente (LUH-IRS, HZDR und LUH-IfB) mit Blick auf die Implementierbarkeit in das AFRY-Szenario-Modell bewertet und ggf. berücksichtigt.

AP6: Fortsetzung Erweiterung Modellteil “Dosisberechnung” und Ausbau der Schnittstellen zu anderen Modellteilen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

TRANS-LARA (“Transport- und Transerverhalten 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: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 Teilprojekten A und B untersuchten Systeme		
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 30.04.2026		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 300.035,70 € (gekürzt am 19.11.2024)
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Matthias Günther		E-Mail-Adresse des Projektleiters: matthias.guenther@mevis.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Transportprozesse potenziell freigesetzter langlebiger Radionuklide (RN) aus einem Endlager für radioaktive Abfälle über den Wasserpfad und den Boden bis in Pflanzen und damit in die Nahrungskette des Menschen müssen für die Langzeitprognose eines Endlagersystems bekannt sein und sind integraler Bestandteil radioökologischer Berechnungen zur Dosisabschätzung. Untersuchungen zu RN-transport, -speziation und -partitionierung im Boden sowie der RN-aufnahme in Pflanzen, als auch Modelle zur Beschreibung dieser Prozesse berücksichtigen bisher kaum den Einfluss von Mikroorganismen und nanopartikulärer Phasen. Pflanzen modifizieren über Wurzel-ausscheidungen 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 Boden-organismengemeinschaften 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: 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 Arbeitsprogrammpunkten)

Der UNiSeCs-Ansatz konnte mit Hilfe zusätzlicher Daten, die von der Erstautorin der zur Validierung des Se-Teilmodells verwendeten Studie zur Verfügung gestellt wurden, weiter verbessert werden (AP-2). Insbesondere konnte aus den Ergebnissen der Se-Extraktion durch Phosphat der gesamte Anteil des der Simulation bisher nicht zugänglichen nativen (d.h. OM-gebundenen oder in der Mineralmatrix befindlichen) Se abgeschätzt werden, da die Daten auch die Gesamtgehalte der verwendeten Böden enthielten. Gemeinsam mit Anna Kogiomtzidis von der FSU Jena konnten die Ergebnisse der Se-Batchversuche, die für vier verschiedene Refesols am IRS Hannover durchgeführt wurden, im Modell gut abgebildet werden. Desweiteren wurde mit Hilfe des UNiSeCs-Ansatzes und Daten von der FSU Jena die Relevanz des an Ferrihydrit-Kolloide gebundenen Se (sowie U und Pu) untersucht (AP-3). Beides ist wichtig für die zukünftige Transportmodellierung an der FSU Jena.

Nach einer Literaturstudie zu Pflanzenmetaboliten und den für die Speziation und Partitionierung relevanten Vorgängen in der Wurzelzone (AP-4) wurde Citrat als repräsentatives Exsudat für die Modellierungen ausgewählt, zumal für diese Substanz auch die benötigten thermodynamischen Daten vorliegen. Da bekannt ist, dass Citrat stark an Ferrihydrit-Oberflächen gebunden wird, wurde mit Hilfe von sogenannten „linear free energy relationships“ (Dzombak und Morel) ein Komplexierungsmodell implementiert. Erste K_d -Schätzungen für Am, Cm, Sm, Eu und Se für den Refesol 1 (AP-5) zeigten zum Teil deutliche Unterschiede in der pH-Abhängigkeit, insbesondere in den Bereichen $\text{pH} < 4.5$ und $\text{pH} > 6.5$.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Es sollen für die relevanten Nuklide incl. Pu und U die Abhängigkeiten des K_d von pH, Phosphat- und Citratgehalt untersucht werden. Die Ergebnisse sollen mit Simulationen für Bereiche außerhalb der Wurzelzone verglichen werden (AP-5). Sobald die Analysedaten für den Unterboden vorliegen, sollen entsprechende Sensitivitätsanalysen und K_d -Matrizen für diesen Bereich erstellt werden (AP-3).

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: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 organische Bodensubstanz, Mykorrhizosphärenprozesse, (kolloidaler) Schwermetall/Radionuklid-Austrag & Drohnenbefliegungen		
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 963.460,91 €
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 Bergbaufolgeflächen 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 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 Arbeitsprogrammpunkten)

Im Juli, November und Dezember erfolgen Online-Meetings mit allen Beteiligten zur Koordination und Diskussion der (Zwischen)Ergebnisse.

- AP 1: Analyse von Durchwurzelung und Ansprache von Mykorrhiza-Morphotypen und Mykorrhizierungsraten konnte mit Hilfe der Lysimeter-Wurzelschächte auf der Halde Beerwalde erfolgen. Zum Abgleich dienten Mykorrhizierungsraten und Bestimmung der Mykorrhizapilze in Stechzylindern auf allen Testflächen.
- AP 2: Die Auswertung des C/N-Gehaltes und der Aggregatstabilität von Bodenproben auf der Gessenwiese ist erfolgt. Auf allen Testfeldern wurden Bodenatmung und Mykorrhizierung quantifiziert sowie mykorrhizierte Kurzwurzeln entnommen, identifiziert und einige Laborkulturen angelegt.
- AP 3: Die im ersten Halbjahr 2024 auf der Halde Beerwalde entnommenen Baumböhrkerne (im Vergleich zu solchen des Reuster Forsts) und Bodenproben wurden analysiert (Bulk-Elementanalyse, Probemessungen LA-ICP-MS, sequenzielle Extraktion, Totalaufschluss) und weitere Proben (Bodenproben, Baumböhrkerne, Blattproben) für die Erweiterung des Datensatzes gewonnen. Die Fluoreszenzmessungen wurden durch eine Wiederholungsmessreihe ausgeweitet. Die Halde Beerwalde wurde durch Vegetationskartierungen und Bodenprofilansprachen weiter charakterisiert. Eine Drohnenbefliegung zur automatisierten Messung des Baumwachstums ist erfolgt.
- AP 4: Das hydrogeochemische Monitoring von Grundwässern auf der Gessenwiese sowie von Sickerwässern von der Halde Beerwalde wurde fortgesetzt und eine Klimaprojektion für den Standort Ronneburg berechnet.
- AP 5: Eine erste Verwertbarkeitsstudie der gewonnenen Biomasse von den Testflächen ist abgeschlossen.
- AP 6: Organisation des 22. Jenaer Sanierungskolloquium im Oktober sowie Teilnahme mit mehreren wissenschaftlichen Vorträgen und Postern; Einbindung in die JSMC durch Teilnahme an Seminaren, Mentorenprogramm (Postdoktorandin).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

- AP 1: Weiterführung der regelmäßigen Probenahmen und hydrogeochemischen/ mikrobiologischen Untersuchung von Sickerwasser aus den Lysimetern der Halde Beerwalde in Zusammenarbeit mit der Wismut GmbH sowie saisonale Wasserprobenahme auf der Gessenwiese sind geplant. Der Einfluss der Mykorrhizierung auf die Wasserverfügbarkeit wird weiter in Mikrokosmen untersucht.
- AP 2: Weiterführung der Porenwasserprobenahme für die Analytik von Exsudaten.
- AP 3: Ausführliche Auswertung des im letzten Jahr für die Halde Beerwalde erhobenen Datensatzes, Methodenentwicklung LA-ICP-MS für Analyse von Baumböhrkernen mit anschließender Analyse der bereits entnommenen Baumböhrkerne. Durchführung der Biomasse-Ernte im Januar 2025 mit anschließender Charakterisierung der oberirdischen Biomasse (Elementgehalt, Brennstoffanalytik). Auswertung der Drohnen Daten.
- AP 4: Saisonales hydrogeochemisches Monitoring von Grund- und Porenwasser auf den Testflächen. Der Einfluss der Mykorrhizierung auf den Erosionsschutz soll in Mikrokosmen untersucht werden. Auf der Halde Beerwalde wird die Analyse der Sickerwässer mindestens bis April 2025 fortgesetzt.
- AP 5: Im Februar 2025 ist ein zweiwöchiger Forschungsaufenthalt einer Doktorandin in Indien zur Beprobung von Bäumen an einem stark mit Chrom kontaminierten Standort geplant (in Zusammenarbeit mit Kollegen des IIT Delhi).

AP 6: 23. Jenaer Sanierungskolloquium (geplant zwischen 6. und 10.10.2025) wird mit einer Weiterqualifizierung für Promovierende und Postdocs zur wirtschaftlichen Analyse gekoppelt. Mentoring und Qualifizierung zum Schreiben von international begutachteten Artikeln sowie Forschungsaufenthalte im Ausland sind ebenso fest geplant wie Konferenzteilnahmen an nationalen und internationalen Konferenzen für alle Promovierenden/Postdocs

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

Frost E (2024) Pflanzenökologische und stressphysiologische Untersuchungen an aus-gewählten Standorten der sanierten Abraumhalde Halde Beerwalde mittels Chlorophyll-Fluoreszenz-Messungen. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Handschug C (2024) Interaktionen zwischen dem Weißfäulepilz *Schizophyllum commune* und den Mikrobiomen belasteter Bodensubstrate aus dem Rückbau nuklearer Anlagen. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Kothe E. 2024. Special issue: Soil microbiology and agriculture. J Basic Microbiol 64:e2400025.

Markus K-L. 2024. Untersuchung von Thiopeptidstress und Co-Kultivierung mit Thiopeptid-Produzenten auf Streptomyceten. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Nettemann S, Mirgorodsky D, Kothe E, Schäfer T (2024): Mobility of dissolved and colloid-associated trace elements in AMD-influenced pore- and groundwaters. Posterbeitrag. 22. Jenaer Sanierungskolloquium, 10. – 11.10.2024.

Nettemann S, Ziethe J, Wiemuth P, Kothe E, Schäfer T (2024) Elucidating rhizosphere processes in a short rotation forestry field experiment in a former Uranium mining area. 22. Jenaer Sanierungskolloquium, 10. – 11.10.2024.

Petersen L, Nettemann S, Krause K, Schäfer T, Kothe E (2024) Mycorrhiza and Mycoremediation. 22. Jenaer Sanierungskolloquium, 10. – 11.10.2024.

Pukallus C, Nettemann S, Riefenstahl M, Berger D, Frost E, Böhm M, Schäfer T, Kothe K (2024) Biomonitoring of trace element uptake by trees in former uranium mining areas. 22. Jenaer Sanierungskolloquium, 10. – 11.10.2024.

Reichel E (2024) Einfluss von Schwermetallen auf die Genexpression und das Wachstum eines metalltoleranten Streptomyceten. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Robel S (2024) Thiopeptide antibiotics and their recognition and effect in *Streptomyces*. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Traxler L, Krause K, Kothe E. 2024. Basidiomycetes to the rescue: Mycoremediation of metal-organics co-contaminated soils. Adv Appl Microbiol 129:83-113.

Trusheim D (2024) Identifikation und Bewertung von Biomassenutzungspfaden einer zur Phytostabilisierung genutzten Kurzumtriebsplantage. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Trusheim D (2024) Identification and evaluation of biomass use paths in a short rotation plantation used for phytostabilization. 22. Jenaer Sanierungskolloquium, 10. – 11.10.2024.

Vestner P (2024) Einfluss der *Streptomyces*-Inokulation auf kolloidale Phasen im Poren- und Grundwasser auf dem Testfeld „Gessenwiese“. Bachelorarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Warthöfer J (2024) Stabilisierung organischer Bodensubstanz im ehemaligen Bergbaugebiet Ronneburg durch kalkhaltige und mikrobielle Zusätze. Masterarbeit, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 Biomonitoringverfahren		
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 Bergbaufolgefächern 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 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)

- (AP 1-6) Zur Projektkoordination fanden im Juli, November und Dezember Online-Meetings mit allen Beteiligten statt. Im August unterstützte und begleitete die Wismut GmbH ein Praktikum im Studiengang B. Sc. Biogeowissenschaften der FSU auf der Halde Beerwalde und die sich anschließende Ergebnisdiskussion im Rahmen des anschließenden Seminars im Oktober.
- (AP 1) Die Wismut GmbH übergab Daten und Proben (Hydrochemie der Sickerwässer) der Lysimeteranlagen auf der Halde Beerwalde an die FSU Jena zur Auswertung. Auf der Halde Beerwalde wurden recherchierte Beprobungsstandorte für weitere Untersuchungen des Projektpartners FSU (Bodenproben, Mykorrhizierungsgrad, Morphotypen, Mikrokosmen-Experimente zum Einfluss der Mykorrhiza) zum Vergleich der Alt- und Neuabdeckung an Eichen auf Basis von betriebsinternen Geometrie- und Sachinformationen teils aktualisiert.
- (AP 2) Zur standortspezifischen Vegetation und Bodenentwicklung wurden im Rahmen der Auswertung der historischen Daten weitere Vor-Ort-Befahrungen auf der Halde Beerwalde unter Berücksichtigung der abgestimmten Untersuchungsansätze mit den Projektpartnern durchgeführt.
- (AP 3) Die im 2. Quartal 2024 mit vorhandenen Biomonitoringergebnissen begonnenen Vegetationsaufnahmen am Untersuchungsobjekt Halde Beerwalde wurden im 2. Halbjahr 2024 in Zusammenarbeit mit der FSU Jena fortgeführt. Die Entnahme von Baumbohrkernen an Eichen auf der Alt- und Neuabdeckung der Halde Beerwalde und dem Reuster Forst zur Analyse (LA-ICP-MS, C-Gehalt, Elementgehalt) und zur Bodenprobenahme wurde mit den Projektpartner FSU und der Landeforstbehörde abgestimmt und begleitet.
- (AP 4) Die beprobten Sickerwässer der Lysimeter von der Halde Beerwalde wurden dem Projektpartner FSU für das 2. Halbjahr 2024 zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der Erstellung des Projektmoduls „Klimaprojektionen für den Uranbergbaustandort Ronneburg - R-basierte Berechnungen mit neuen Klimamodellen und aktuellen Emissionsszenarien“ erfolgte die Betreuung einer studentischen Arbeit im Zeitraum August bis November 2024 durch die Wismut GmbH.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- (AP 1) Die Daten zu Sickerwassermengen der Lysimeter auf der Halde Beerwalde werden fortlaufend an die FSU Jena übergeben.
- (AP 2) Die fachliche Betreuung der studentischen Arbeit (FSU) zur langzeitlichen Klimaentwicklung wird fortgesetzt. Daten zur Durchwurzelung der Abdeckung werden aufgearbeitet. Es werden Untersuchungen an Profilen im Wurzelschacht fortgeführt.
- (AP 3) Neue Kartierungsdaten aus forstlichen Erhebungen zur Vegetationsentwicklung werden aufbereitet und den Projektpartnern zur Verfügung gestellt.
- (AP 4) Die Übergabe von Analyseergebnissen beprobter Sickerwässer der Lysimeter der Halde Beerwalde aus dem Jahr 2024 erfolgt im 1. Quartal 2025.
- (AP 6) Studierende/Doktoranden der FSU Jena werden zum Thema Klimamodellierung/ Standortansprache fachlich umfassend betreut.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		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 Bergbaufolgeflächen 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 Arbeitsprogrammpunkten)

Im Berichtszeitraum wurden im Juli, November und Dezember Online-Meetings mit allen Projektpartnern abgehalten.

Im Juli fand eine von AFRY organisierte Exkursion zum Zellstoffwerk Mercer Rosenthal zusammen mit Mitarbeitern und Studierenden der Friedrich-Schiller-Universität Jena aus den am Projekt beteiligten Instituten statt. Im Rahmen der Exkursion konnten einerseits die Studierenden wertvolle Praxiseinblicke gewinnen. Andererseits konnten mit den Vertretern aus der Industrie aber auch die Fragestellungen des Forschungsprojektes MykoBEst diskutiert werden und Hinweise bzw. Anregungen für die weitere Projektarbeit aufgenommen werden.

(AP 5) Die Arbeiten zur Erarbeitung und Bewertung von Nutzungspfaden für die stoffliche und energetische Verwertung von Biomasse aus den Bergbaufolgegebieten (Verwertbarkeitsstudie) wurden fortgesetzt. Die von AFRY mitbetreute, an der FSU Jena angesiedelte, Masterarbeit aus dem Bereich Umwelt- und Georessourcenmanagement wurde wie geplant abgeschlossen (Bearbeitungsdauer 15.04.-15.10.2024).

(AP 6) AFRY nutzte interne und externe Kommunikationskanäle (AFRY-Newsletter, soziale Medien wie „LinkedIn“) zu Dissemination und Diskussion der Projektaktivitäten.

Die Ergebnisse der Masterarbeit zur Verwertbarkeitsstudie wurden als gemeinsamer Vortragsbeitrag mit der FSU Jena beim 22. Jenaer Sanierungskolloquium am 10.10.2024 präsentiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

(AP 5) Die Verwertbarkeitsstudie wird weiter fortgeführt und detailliert, u.a. sind hierzu weitere Szenarien-Rechnungen sowie die Teil-Betreuung einer Masterarbeit angedacht, bei welcher die Nutzung der Biomasse in weiteren Stoffkomponenten wie z.B. Lignin bzw. abgeleiteten Komponenten betrachtet wird.

(AP 6) Im Rahmen der Maßnahmen entsprechend des Projektantrages im Bereich „Weiterqualifizierung und Outreach“ erfolgen Planung und Vorbereitung eines Workshops, bei welchem den Teilnehmern (u.a. Studierende + Doktoranden) Inhalte zur Umsetzung der naturwissenschaftlich-technischen Forschungsergebnisse unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten am Beispiel der Biomassegewinnung aus Bergbaufolgelandschaften nahegebracht werden sollen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

/

6. Berichte und Veröffentlichungen

Trusheim, D.: Identification and evaluation of biomass valorization options in short rotation plantation used for phytostabilization. Vortragspräsentation und Proceedings 22. Jenaer Sanierungskolloquium 10.-11. Oktober 2024; Friedrich-Schiller-Universität Jena

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9448A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: actimondo eG		
Vorhabenbezeichnung: VP: K.I.S.S. - Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement, TP: Innovation in der Kerntechnik: Stärkung der nuklearen Sicherheit durch digitalisierte und bildungsorientierte Ansätze		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2024 bis 30.04.2027	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 279.712,60 €	
Projektleiter/-in: Dr. John Kettler	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: john.kettler@actimondo.com	

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Projekts K.I.S.S. ist es, integrierte Plattformen für das effiziente Rückbau- und Genehmigungsmanagement von kerntechnischen Anlagen mit Fokus auf Kompetenzerhalt, Strahlenschutz und KI-gestützter Prozessführung zu entwickeln. Das Projekt ist in drei Fachmodule unterteilt, die jeweils eine innovative Lösung für die Qualifizierung von Fachkräften, das Genehmigungsmanagement und die Prozessführung für den Rückbau darstellen. Die Plattform soll die Sicherheitskultur in der Kerntechnik stärken, den Wissensaustausch und -erhalt fördern, die Kommunikation und Transparenz zwischen den Beteiligten verbessern und die Position deutscher Akteure im internationalen Rückbaumarkt sichern.

actimondo ist der Koordinator des Verbundvorhabens und hauptverantwortlich für das Modul 1, in dem eine Community Plattform sowie eine mobile Trainingsstation entwickelt wird, die Präsenz- und Online-Lernen sowie Virtual- und Augmented-Reality kombinieren. Die Community Plattform soll Fachkräfte, insbesondere Quer- und Neueinsteiger, unterstützen einen zielgerichteten Zugang zum Wissen der Branche zu finden.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das K.I.S.S. Projekt ist in drei Fachmodule unterteilt:

1. Modul 1: Community-Plattform & mobile Trainingsstation - Ziel ist es, durch aufeinander abgestimmte und miteinander verknüpfte Lösungen (Digital Smart Campus, mobile Trainingsstation, Lernmanagementumgebung etc.) das Wissens- sowie Projektmanagement im Bereich Rückbau- und Genehmigungsverfahren von kerntechnischen Anlagen zu stärken.
2. Modul 2: Digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben - Ziel ist es, eine digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben auf Basis der Blockchain-Technologie zu entwickeln, um die revisionssichere Übermittlung der Verfahrensunterlagen sowie die transparente und in Echtzeit geführte Kommunikation zwischen den Verfahrensbeteiligten zur Beschleunigung der Projekte zu ermöglichen.
3. Modul 3: KI-gestützte Prozessführung für den Rückbau - Ziel ist es, ein Managementsystem zur KI-gestützten Prozessführung für den Rückbau zu realisieren, damit die umfangreichen Daten besser aufbereitet werden können, sowie die Organisation und Strukturierung der Endlagedokumentation optimiert werden.

Jedes Modul hat für sich einen eigenen Anwendungsschwerpunkt, wobei die Synergie im abgestimmten Einsatz der Basistechnologien bzw. Softwarelösungen begründet ist.

Seitens actimondo wird in Modul 1 das Konzept für den Digital Smart Campus als Grundlage für die Community Plattform erstellt. Hierauf aufbauend wird bis Anfang 2025 ein Prototyp entwickelt und fertiggestellt, um den Use-Case für die Zielgruppe zu spezifizieren. In Modul 2 werden mit den Verbundpartnern FIR, GRS und Dornier bis Anfang 2025 der Prototyp für die digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben entwickelt. Hierzu werden zunächst eine Anforderungsanalyse und das Plattformkonzept ausgearbeitet. Das Team von actimondo bringt hierfür sein Netzwerk mit ein, um die Interessen der Stakeholder (Behörden, Industrie, EVUs, TÜVs etc.) zu berücksichtigen. In Modul 3 werden zunächst die Anforderungsfelder für die KI-gestützte Prozessführung im Rückbau identifiziert. Parallel wird eine Studie für die Basistechnologie durchgeführt. Seitens actimondo werden hierfür relevante Technologien hinsichtlich ihrer Eignung auf den Anwendungsfall untersucht. Zu den Randbedingungen gehört, dass die Technologien DSGVO-konform sind und die Wissenspools als Multi-Cloud-Lösung genutzt werden kann, so dass jeder Anwender sicherstellen kann, dass keine vertraulichen Daten der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

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

Im Nachgang zum Kick-off des Projektes wurde das Arbeitsprogramm überarbeitet und präzisiert. Ursprünglich war im Konzept lediglich von einer hybriden Plattform (AP1) die Rede. Diese wurde im Zuge der Anpassungen in zwei separate Elemente unterteilt: die Community-Plattform und die mobile Trainingsstation. Diese differenzierte Strukturierung wurde detailliert ausgearbeitet und mit dem Projektträger sowie der FORKA-Begleitgruppe abgestimmt. Beide Instanzen haben der Anpassung zugestimmt, wodurch nun eine klarere und besser strukturierte Basis für die Umsetzung der Arbeitspakete geschaffen wurde. Diese Überarbeitung sorgt für eine gezieltere Ausrichtung der Projektaktivitäten und stellt sicher, dass die Ziele effizienter erreicht werden können.

Modul 1 – Community-Plattform und mobile Trainingsstation:

- Der Meilenstein M1.1 wurde durch die Fertigstellung des Basiskonzepts für die Community-Plattform („Digital Smart Campus“) erreicht. Dieses wurde umfassend schriftlich dokumentiert.
- Im Rahmen des Meilensteins M1.2 wurde der Aufbau des Wissenspools beschrieben, einschließlich der Integration externer Inhalte, sodass die Basis für die Prototyperstellung geschaffen ist.
- Zudem wurde der Meilenstein M1.6 erreicht, indem das Konzept für die mobile Trainingsstation sowie die relevanten Use Cases definiert wurden.
- Im Meilenstein M1.7 konnte durch ein Technologie-Scouting die geeignete Technologie und das technische Equipment für die mobile Trainingsstation identifiziert und festgelegt werden.

Modul 2 – Digitale Plattform für Genehmigungsmanagement:

Der Meilenstein M2.1 wurde erreicht, indem ein Technologie-Scouting durchgeführt und das Marktpotenzial analysiert wurde. Dabei wurde die Blockchain-Technologie, insbesondere Hyperledger Fabric, als Basistechnologie für die Plattform festgelegt, die nun in die Prototyp-Entwicklung überführt wird.

Modul 3 – KI-gestützte Prozessführung für den Rückbau:

Der Meilenstein M3.1 wurde durch die Identifikation geeigneter Anwendungsfelder abgeschlossen. Die Use Cases wurden analysiert, priorisiert und synergetisch zusammengefasst, wodurch eine klare Grundlage für die Entwicklung der KI-Assistenten geschaffen wurde.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Modul 1 – Community-Plattform und mobile Trainingsstation:

Die Entwicklung des Digital Smart Campus als Minimum Viable Product (MVP) wird vorangetrieben. Partner sind in die Umsetzung eingebunden, und es wird erwartet, dass der Prototyp bis zum Ende des Halbjahres fertiggestellt ist und erste Tests mit der Zielgruppe durchgeführt werden können. Parallel dazu wird die mobile Trainingsstation weiterentwickelt. Die prototypische Trainingsumgebung wird finalisiert, und ein Demonstrator soll bereitgestellt werden, um in Tests mit ausgewählten Nutzergruppen die praktische Anwendung zu evaluieren und zusätzliche Use Cases zu bearbeiten.

Modul 2 – Digitale Plattform für Genehmigungsmanagement:

Im Fokus steht die Entwicklung und Fertigstellung des Demonstrators für die Plattformlösung. Dieser wird im ersten Halbjahr 2025 pilotiert und getestet, um die Grundlage für die spätere Anwendung zu schaffen.

Modul 3 – KI-gestützte Prozessführung für den Rückbau:

Im dritten Modul wird das Technologie-Scouting für die Basistechnologien abgeschlossen. Dabei wird die geeignete KI-Technologie final ausgewählt. Zudem erfolgt eine abschließende Priorisierung der identifizierten Use Cases, um die nächsten Schritte für die Entwicklung der KI-gestützten Prozessführung gezielt vorzubereiten.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es wurde mit den Partner FH Südwestfalen und TU München das Verbundprojekt KIKO initiiert, dass komplementär zum Projekt K.I.S.S. ist und das Ziel hat einen KI-Assistenten für den Rückbau zu entwickeln. Dieser soll in die Community-Plattform eingebunden werden und damit die Funktionalität für die Nutzer erhöhen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Vortrag auf dem JRC-Foresight-Workshop in Karlsruhe (11.-12.11.2024). Vorstellung des Verbundvorhaben K.I.S.S. durch Dr. John Kettler.

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9448B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln		
Vorhabenbezeichnung: VP: K.I.S.S. - Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz, TP: Digitale Plattformen zum Lernen, Genehmigungsverfahren, Strahlenschutz und KI-gestützter Prozessführung im behördlichen Umfeld		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2024 bis 30.04.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 854.225,03 EUR
Projektleiter/-in: Dr. Holger Seher		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: holger.seher@grs.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Verbundvorhabens K.I.S.S. ist es, eine integrierte Plattform für das effiziente Rückbau- und Genehmigungsmanagement von kerntechnischen Anlagen mit Fokus auf Kompetenzerhalt, Strahlenschutz und KI-gestützter Prozessführung zu entwickeln. Das Vorhaben ist in drei Fachmodule unterteilt, die jeweils eine innovative Lösung für die Qualifizierung von Fachkräften, das Genehmigungsmanagement und die Prozessführung für den Rückbau darstellen. Die Plattform soll die Sicherheitskultur in der Kerntechnik stärken, den Wissensaustausch und -erhalt fördern, die Kommunikation und Transparenz zwischen den Beteiligten verbessern und die Position deutscher Akteure im internationalen Rückbaumarkt sichern.

Die GRS bringt Ihre Erfahrungen auf dem Gebiet des Rückbaus und der Endlagerung in das Vorhaben mit ein. Sie ist an allen Modulen beteiligt und koordiniert die Arbeiten des Verbundes für das Modul 3.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Verbundvorhaben K.I.S.S. ist in drei Fachmodule unterteilt:

1. Modul 1: Hybride und innovative Community-Plattform - Ziel ist es, durch aufeinander abgestimmte und miteinander verknüpfte Lösungen (Digital Smart Campus, mobile Trainingsstation, Lernmanagementumgebung etc.) das Wissens- sowie Projektmanagement im Bereich Rückbau- und Genehmigungsverfahren von kerntechnischen Anlagen zu stärken.
2. Modul 2: Digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben - Ziel ist es, eine digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben auf Basis der Blockchain-Technologie zu entwickeln, um die revisionssichere Übermittlung der Verfahrensunterlagen sowie die transparente und in Echtzeit geführte Kommunikation zwischen den Verfahrensbeteiligten zur Beschleunigung der Projekte zu ermöglichen.
3. Modul 3: KI-gestützte Prozessführung für den Rückbau - Ziel ist es, ein Managementsystem zur KI-gestützten Prozessführung für den Rückbau zu realisieren, damit die umfangreichen Daten besser aufbereitet werden können, sowie die Organisation und Strukturierung der Endlagedokumentation optimiert werden.

Jedes Modul hat für sich einen eigenen Anwendungsschwerpunkt, wobei die Synergie im abgestimmten Einsatz der Basistechnologien bzw. Softwarelösungen begründet ist.

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

Im Berichtszeitraum fand ein Projekttreffen beim Projektpartner FIR in Aachen statt. Außerdem wurden dem FORKA-Projekt-Gremium die aktuellen Zwischenstände der Arbeiten aus allen APS bei der Zwischenevaluierung am 13.11.2024 vorgestellt.

Modul 1: Ein Konzeptpapier zur Communityplattform wurde erarbeitet und die Mindmap zur Communityplattform darin aufgenommen. Das erste Mockup der Community-Plattform wurde den Projektpartnern vorgestellt. Mit der Erstellung eines Konzepts zum Aufbau des Wissenspools der Community-Plattform wurde begonnen. Für die mobile Trainingsstation wurde ein Konzeptpapier erstellt. Das Mockup des ersten Szenarios wurde mit der in der GRS vorhandenen VR-Brille getestet.

Modul 2: Es wurden verschiedene Value Flow Models bzw. Buissiness Process Maps zu ausgewählten Verfahren (Genehmigungsverfahren und Abbau- bzw. Änderungsverfahren) mit den entsprechenden Stakeholdern und zugehörigen Rollenprofilen erstellt und mit dem Projektpartner FIR in die Software „Camunda“ überführt. Des Weiteren hat die GRS begleitend an einem Stakeholder-Interview des FIR teilgenommen.

Modul 3: Die Arbeiten zur Anforderungsanalyse wurden begonnen, zusammen mit den Projektpartnern eine Shortlist an Use Cases erarbeitet und alle Arbeiten in einem Bericht zur Anforderungsanalyse dokumentiert. Für das Technologie-Scouting wurde eine Liste möglicher Sprachmodelle (LLMs) erstellt und mit den Projektpartnern diskutiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Modul 1: Das Mockup der Communityplattform soll weiter verfeinert werden. Das Konzept zum Wissenspools soll weiterentwickelt werden. Die Erfolgsfaktoren, Customer Journey und die User Experience sollen detailliert beschrieben werden. Für die mobile Trainingsstation soll das erste Szenario verfeinert und weitere Szenarios entwickelt werden.

Modul 2: Es werden fortlaufend Abstimmungen zwischen FIR und GRS stattfinden, insbesondere in Bezug auf die Programmierung der Pilotplattform zur Darstellung der ausgewählten Verfahren, um aufkommende Fragen zum Verfahrensablauf und zu Anforderungen an die Plattform zu klären.

Modul 3: Die User Stories der Shortlist der Use Cases sollen fertiggestellt werden. Ein Systementwurf für ausgewählte Use-Cases soll erstellt werden. Die Basistechnologie soll weiter erarbeitet werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Auf dem Projekttreffen in Aachen hat der Koordinator des Vorhabens KIKO das Vorhaben vorgestellt und mögliche Kooperationen zwischen den beiden Vorhaben wurden erörtern.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9448C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: FIR e. V. an der RWTH Aachen Campus-Boulevard 55 52074 Aachen		
Vorhabenbezeichnung: VP: K.I.S.S. - Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement, TP: Digitale Plattform inkl. KI-gestützter Prozessführung und Schulungsinhalte für sicherheitssensitive Genehmigungsverfahren.		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2024 bis 30.04.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 689.262,51€
Projektleiter/-in: Gerrit Hoeborn, Max-Ferdinand Stroh		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Gerrit.hoeborn@fir.rwth-aachen.de max-ferdinand.stroh@fir.rwth-aachen.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Projekts K.I.S.S. ist es, eine integrierte Plattform für das effiziente Rückbau- und Genehmigungsmanagement von kerntechnischen Anlagen mit Fokus auf Kompetenzerhalt, Strahlenschutz und KI-gestützter Prozessführung zu entwickeln. Das Projekt ist in drei Module (Arbeitspakete) unterteilt, die jeweils eine innovative Lösung für die Qualifizierung von Fachkräften, das Genehmigungsmanagement und die Prozessführung für den Rückbau darstellen. Die Plattform soll die Sicherheitskultur in der Kerntechnik stärken, den Wissensaustausch und -erhalt fördern, die Kommunikation und Transparenz zwischen den Beteiligten verbessern und die Position deutscher Akteure im internationalen Rückbaumarkt sichern.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das K.I.S.S. Projekt ist in drei Arbeitspakete unterteilt:

1. Modul 1 (AP 1): Hybride und innovative Community-Plattform - Ziel ist es, durch aufeinander abgestimmte und miteinander verknüpfte Lösungen (Digital Smart Campus, mobile Trainingsstation, Lernmanagementumgebung etc.) das Wissens- sowie Projektmanagement im Bereich Rückbau- und Genehmigungsverfahren von kerntechnischen Anlagen zu stärken.

Das FIR unterstützt in AP 1 durch Beratung und Begleitung der Konzeption und Prototypentwicklung sowie bei der Analyse der Anwenderzielgruppen. Darüber hinaus wird durch das FIR Unterstützung bei der Definition eines Pflichtenheftes für die Plattform geleistet und die Planung und Durchführung der Testläufe begleitet. Außerdem unterstützt das FIR die Auswertung der bisherigen Erfahrungen und Erkenntnisse aus Testläufen und Pilotprojekten und die Integration weiterer Module. Weitere Punkte sind die Durchführung einer Technologieanalyse und Identifikation potenzieller VR/AR-Technologien, die Analyse von Best-Practice-Erfahrungen, Unterstützung bei der Evaluierung der Eignung und Verfügbarkeit der Technologien sowie die Synthese der Soft- und Hardwarearchitektur für die Programmierungs-, Umsetzungs- und Betriebsphase. Zu der Entwicklung der virtuellen Trainingsumgebung trägt das FIR durch die Koordination der Erstellung des Pflichtenheftes und Festlegung der Grundanforderungen, die Bereitstellung wissenschaftlicher Expertise und didaktischer Konzepte und die Durchführung von Tests zur didaktischen Qualität der Trainingsumgebung bei. Einzelne Trai-

ningsmodule werden durch das FIR getestet und evaluiert, um die Qualität der Trainingsmodule sicherzustellen.

2. Modul 2 (AP 2): Digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben - Ziel ist die Entwicklung einer digitalen Plattform für Genehmigungsvorhaben auf Basis der Blockchain-Technologie, um die revisionssichere Übermittlung der Verfahrensunterlagen sowie die transparente und in Echtzeit geführte Kommunikation zwischen den Verfahrensbeteiligten zur Beschleunigung der Projekte zu ermöglichen.

Im Rahmen des AP 2 erarbeitet das FIR das Design des Business-Ökosystems sowie die Konzeption einer Plattform-Governance zur Steuerung zentraler Akteure auf der digitalen Plattform. Dazu werden die relevanten Stakeholder identifiziert und ihre regulatorischen Anforderungen analysiert. Anschließend wird das aktuelle Ökosystem der Stakeholder mittels einer Value-Stream-Map visualisiert, wobei Wertbeiträge, Austauschbeziehungen und Schnittstellen der Stakeholder dargestellt werden. Es werden zudem Rollenprofile konzipiert und die Hauptaktivitäten dokumentiert. Die Anforderungen der verschiedenen Rollen im Business-Ökosystem für die digitale Plattform werden durch Interviews erhoben und dargestellt. Daraufhin wird das zentrale Wertversprechen definiert und ein Plattformkonzept mit den grundlegenden Funktionalitäten entwickelt. Die Kernprozess- und Transaktionsdefinitionen werden in einer Business-Process-Map visualisiert und die technischen Anforderungen in einem technischen Lastenheft sowie einem IT-Sicherheitsleitfaden festgehalten. Das Ziel-Ökosystem wird mit den Rollenprofilen zukünftiger Akteure gestaltet und ein Governance-Konzept entwickelt, das Compliance-Regeln und Koordinationsmaßnahmen umfasst. Im Anschluss erfolgten eine detaillierte Auswertung und ein Vergleich der erhobenen Anforderungen mit bestehenden IT-Systemen, gefolgt von der Entwicklung eines systematischen Ansatzes zur Auswahl geeigneter Plattform-Technologien. Nach der Auswahl geeigneter Technologien werden die Kernakteure für den Aufbau der Plattform identifiziert und eine Potenzialanalyse angrenzender Märkte mittels der Market-Adjacency-Methode durchgeführt. Abschließend erfolgt die Integration, indem detaillierte Use Cases beschrieben und konkrete Anwendungsfälle definiert werden. Die IT-Systemlandschaft wird erfasst und Systemabhängigkeiten werden dargestellt, um das technische Framework zu entwickeln. Es folgt eine agile Softwareentwicklung zur Anbindung an Bibliotheken und die Definition einer Integrationsstrategie, um die definierten Prozesse einzubetten und anschließend zu optimieren.

3. Modul 3 (AP 3): KI-gestützte Prozessführung für den Rückbau - Ziel ist es, ein Managementsystem zur KI-gestützten Prozessführung für den Rückbau zu realisieren, damit die umfangreichen Daten besser aufbereitet werden können, sowie die Organisation und Strukturierung der Endlagerdokumentation optimiert werden. Im Rahmen des AP 3 konzentriert sich das FIR auf die Recherche des Stands der Technik im Anwendungszusammenhang. Außerdem unterstützt das FIR den Konsortialpartner Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS) methodisch bei der Anforderungsermittlung und -definition bezüglich der Vorgehensweise. Die Erstellung eines Datenmodells sowie die Datenvorbereitung der durch GRS identifizierten Dokumente für die Verwendung in Sprachmodellen sind weitere Arbeitspakete. Weiterhin liegt der Fokus auf der Technologierecherche und der Unterstützung bei der Erstellung eines Umsetzungskonzeptes, einschließlich der Identifikation geeigneter KI-Technologien (LLMs) und deren Feintuning auf spezielles Domänenwissen. Dabei kommen Methoden des Informationsmanagements zum Einsatz, die in einem Technologieradar dargestellt werden. Die Bewertung der Einsatzfähigkeit der jeweiligen Sprachmodelle erfolgt auf Basis einer zuvor definierten Methodik, wie beispielsweise der Technologieportfolio-Methode, und führt zur Detaillierung der Systemarchitektur von GRS hinsichtlich der Integration des Sprachmodells und der Wissensrepräsentation. Zudem umfasst das Vorhaben die Programmiertätigkeiten zur Realisierung des Demonstrators, insbesondere der LLM-Entwicklung. Hierzu zählt die methodi-

sche Unterstützung der GRS bei der Entwicklung von User-Stories, das Design der Benutzeroberfläche mittels Wireframing-Tools, das Aufsetzen des Sprachmodells und der KI-Verfahren zur Textanalyse gemäß Systemarchitektur, die Implementierung des Front-Ends sowie die Systemintegration und Entwicklung der Schnittstellen. Abschließend wird das FIR/RWTH die Tests begleiten und Bugfixes, Hotfixes sowie kleinere Anpassungen an den KI-Komponenten auf Anfrage durchführen.

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

Modul 1 (AP1): Die im Rahmen des Projekts durchgeführten Arbeiten umfassten die Auswahl geeigneter Virtual-Reality-Technologien sowie eine umfassende Literaturrecherche zu digitalen und hybriden Lernformaten mit einer systematischen Analyse methodischer Vor- und Nachteile. Nach intensiven Gesprächen mit allen Verbundpartnern hat sich gezeigt, dass die Community Plattform die eigentliche Zielstellung ist (siehe hierzu Anpassung der Vorhabensbeschreibung vom 12.09.2024). Hierfür wurde der bestehende Forschungsantrag überarbeitet und an die Projektanforderungen angepasst. Im Hinblick auf die Entwicklung der Community-Plattform wurde im Austausch mit den Verbundpartnern wissenschaftliche Expertise eingebracht und konstruktives Feedback zu ersten Designvorschlägen bereitgestellt. Für die Konzipierung der mobilen Trainingsstation wurde ein Beobachtungsbogen zur wissenschaftlichen Erfassung des Umgangs der Teilnehmenden mit VR-Technologie erstellt.

Modul 2 (AP2): Ziel des zweiten Arbeitspakts ist die Entwicklung und Pilotierung einer digitalen Plattform, welche ein zuverlässiges und transparentes Datenmanagement für sicherheitsrelevante Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren in Multi-Akteur-Ökosystemen ermöglicht. Hierfür wurde nächst eine umfangreiche Anforderungsanalyse durchgeführt. Dies erfolgte überwiegend in Form von Recherchen, Expertengesprächen und Interviews. Hierdurch konnten die für den Prozess relevanten Stakeholder identifiziert, klassifiziert und aufgenommen werden. Es wurden Interviews mit Mitarbeitenden der unterschiedlichen Entitäten (Stakeholder) geführt und die unterschiedlichen Rollen und Funktionen festgehalten. Hierbei wurden auch mögliche Potenziale und Herausforderungen einer digitalen Plattform als Daten- und Prozessmanagementtool herausgearbeitet und festgehalten. Der aktuelle Status Quo der Nutzung von digitalen Systemen und analogen Prozessen wurde ebenfalls dokumentiert. Als Zusammenfassung der Anforderungsanalyse wurden die Verfahren (sowohl das Neuantragsverfahren als auch das Änderungsverfahren) in Form von Business Process Model and Notation (BPMN, auf Deutsch Modell und Notation für Geschäftsprozesse) dokumentiert.

Weiterhin wurde ein Technologie-Scouting betrieben, um eine geeignete Basistechnologie für den Aufbau und Betrieb der digitalen Plattform zu identifizieren. Aufgrund der bereits bei Projektbeginn formulierten und für die digitale Plattform unabdingbaren hohen Anforderung an Revisions- und Angriffssicherheit, galt die Blockchain-Technologie als festgelegt. Die auf der Blockchain-Technologie aufbauenden Basistechnologien mussten jedoch noch recherchiert, analysiert und ausgewertet werden, um die am besten geeignete Basistechnologie auszuwählen. In diesem Zuge wurden elf Basistechnologien auf die ideale Anwendbarkeit, für die hier zu entwickelnde digitale Plattform untersucht. Als Ergebnis wurde die Hyperledger-Fabric als die beste Basistechnologie für die digitale Plattform identifiziert und vom gesamten Projektkonsortium bestätigt.

Modul 3 (AP3): Im Rahmen des AP 3 beteiligte sich das FIR aktiv am internen AP 3 Kick-Off-Meeting und den regelmäßigen Jour-Fixe-Meetings, die alle zwei Wochen stattfinden und der Besprechung sowie Koordination relevanter und notwendiger Inhalte dienen.

Im AP 3.1 zur Identifikation geeigneter Anwendungsfelder hat das FIR gemeinsam mit anderen Konsortialpartnern weiter die Anforderungen abgestimmt, erste Dokumente für die Retrieval-Augmented-Generation gesammelt sowie verschiedene Use-Cases besprochen und dokumentiert.

Im Zuge des AP 3.2 „Technologie-Scouting für die Basistechnologie und Systementwurf“ hat das FIR erste Inhalte für den Stand der Technik erstellt. Das FIR hat eine LLM-Recherche durchgeführt und diese Ergebnisse mit den Konsortialpartnern abgestimmt. Außerdem wurde nach Vektordatenbanken recherchiert, mit einem Vergleich von Datenbanken für Knowledge Graphs angefangen und ein erster Systementwurf erstellt.

Im Rahmen des AP3.3 "Aufsetzen und Entwicklung des Language Models und anderer KI-Verfahren" wurde ein Server mit starker GPU-Leistung für den LLM-Use-Case zusammengestellt. Dabei stand das FIR in Wissensaustausch und Abstimmung mit internen und externen Partnern, beispielsweise mit der GRS gGmbH bezüglich der Grafikkarte, um die Kompatibilität aller Komponenten zu gewährleisten. Eine Angebotsanfrage wurde an drei Lieferanten verschickt, woraufhin sich für das Angebot der Bechtle GmbH entschieden wurde.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Modul 1 (AP1): Die Weiterentwicklung der Community-Plattform wird sich auf die Optimierung der Designkonzepte unter Berücksichtigung des bisherigen Feedbacks fokussieren. Ein verbundweiter Austausch über potenzielle Verbesserungen wird angestrebt, um eine anwendergerechte und nutzerfreundliche Nutzung der Plattform sicherzustellen.

Im Bereich der mobilen Trainingsstation werden zunächst umfassende Testungen der Use-Case-Szenarien durchgeführt. Dabei soll der entwickelte Beobachtungsbogen iterativ weiterentwickelt werden, um ein fundiertes Messkonzept zur Erfassung und Bewertung der Effektivität der VR-gestützten Trainingsmaßnahmen zu erstellen und dieses zu validieren.

Modul 2 (AP2): Die oben beschriebenen BPMNs und die ausgewählte Basistechnologie stellen nun die Grundlage für die Erstellung der digitalen Datenplattform dar. In einem nächsten Schritt soll nun ein Minimal Viable Product (MVP, auf Deutsch kleinste durchführbare Produkt) programmiert werden. Hierfür werden die BPMNs ins verschriftliche Use-Case-Beschreibungen überführt, die den Softwareentwicklern als Basis dienen, die Plattform in ihrer einfachsten Form zu programmieren und in ein funktionstüchtiges System zu überführen. Zusätzlich wird ein Designbeispiel einer Nutzeroberfläche (Mockup Userinterface) unter Einbeziehung der aufgenommenen Anforderungen erstellt und den Softwareentwicklern als Vorlage bereitgestellt. Ergebnis der geplanten Weiterarbeit ist ein funktionstüchtiger Prototyp in Form eines MVPs der digitalen Datenplattform.

Modul 3 (AP3): Die Arbeiten in AP 3.2 werden weiter vorangetrieben und die vorausgewählten Sprachmodelle in einem Technologieradar miteinander verglichen sowie die Selektion der von FIR und GRS bewerteten Technologien auf Basis einer zuvor definierten Methodik, beispielsweise der Technologieportfolio-Methode, finalisiert. Schließlich wird in AP 3.2 die Detaillierung der Systemarchitektur von GRS bezüglich der Integration des Sprachmodells und der Wissensrepräsentation erfolgen, bspw. über Vektordatenbanken, Embeddings oder Low-Rank-Adaptation. In AP 3.3 wird die GRS methodisch bei der Entwicklung von User-Stories und Frage-Antwort-Beispielen unterstützt werden. Das Design der Benutzeroberfläche wird mithilfe von Wireframing-Tools in Anwenderworkshops erstellt werden. Abschließend werden das Sprachmodell und die KI-Verfahren zur Textanalyse gemäß der Systemarchitektur aufgesetzt werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Verbundtreffens in Aachen wurden das KIKO-Projekt von der Fachhochschule Südwestfalen vorgestellt, um Vorteile einer Kooperation zwischen beiden Vorhaben zu erörtern. Eine mögliche Zusammenarbeit wird in den nächsten Monaten weiter diskutiert.

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Vortragsbeitrag für die KONTEC 2025 im September in Dresden. Die Mitarbeiter des FIR an der RWTH Aachen sind als Co-Autoren aufgeführt: Hoerborn, G.; Güner, B.; Kantharajah, A.; Stamm, J. v.; Stark, M.; Fritzsche, S.; Stroh, M.-F.; Malirsch, T.
- Artikel für „atw - Journal of Nuclear Power“ mit dem Titel „Digitale und KI-gestützte Lösungen für einen sicheren und effizienten Rückbau kerntechnischer Anlagen - Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „K.I.S.S.“. Die Mitarbeiter des FIR an der RWTH Aachen sind als Co-Autoren aufgeführt: Hoerborn, G.; Güner, B.; Kantharajah, A.; Stamm, J. v.; Stark, M.; Fritzsche, S.; Stroh, M.-F.; Malirsch, T.
- Ergebnispräsentation des Verbundtreffens mit allen Konsortialpartner und dem Projektträger am 5. November 2024

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9448D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich		
Vorhabenbezeichnung: VP: K.I.S.S. - Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement, TP: Safeguards sowie Partitioning		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2024 bis 30.04.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 294.290,91 €
Projektleiter/-in: Dr. Irmgard Niemeyer		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: i.niemeyer@fz-juelich.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Projekts K.I.S.S. ist es, eine integrierte Plattform für das effiziente Rückbau- und Genehmigungsmanagement von kerntechnischen Anlagen mit Fokus auf Kompetenzerhalt, Strahlenschutz und KI-gestützter Prozessführung zu entwickeln. Das Projekt ist in drei Fachmodule unterteilt, die jeweils eine innovative Lösung für die Qualifizierung von Fachkräften, das Genehmigungsmanagement und die Prozessführung für den Rückbau darstellen. Die Plattform soll die Sicherheitskultur in der Kerntechnik stärken, den Wissensaustausch und -erhalt fördern, die Kommunikation und Transparenz zwischen den Beteiligten verbessern und die Position deutscher Akteure im internationalen Rückbaumarkt sichern.

Im TP „Safeguards sowie Partitioning“ werden Lerninhalte für einen virtuellen Trainingskurs zur internationalen Kernmaterialüberwachung (engl. Safeguards) und für ein virtuelles kerntechnisches Messpraktikum entwickelt.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das K.I.S.S. Projekt ist in drei Fachmodule unterteilt:

1. Modul 1: Hybride und innovative Community-Plattform - Ziel ist es, durch aufeinander abgestimmte und miteinander verknüpfte Lösungen (Digital Smart Campus, mobile Trainingsstation, Lernmanagementumgebung etc.) das Wissens- sowie Projektmanagement im Bereich Rückbau- und Genehmigungsverfahren von kerntechnischen Anlagen zu stärken.
2. Modul 2: Digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben - Ziel ist es, eine digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben auf Basis der Blockchain-Technologie zu entwickeln, um die revisionssichere Übermittlung der Verfahrensunterlagen sowie die transparente und in Echtzeit geführte Kommunikation zwischen den Verfahrensbeteiligten zur Beschleunigung der Projekte zu ermöglichen.
3. Modul 3: KI-gestützte Prozessführung für den Rückbau - Ziel ist es, ein Managementsystem zur KI-gestützten Prozessführung für den Rückbau zu realisieren, damit die umfangreichen Daten besser aufbereitet werden können, sowie die Organisation und Strukturierung der Endlagedokumentation optimiert werden.

Im Rahmen von Modul 1 werden die Lerninhalte für Safeguards und kerntechnisches Messpraktikum entwickelt und in die Community Plattform integriert.

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

Im Rahmen von Modul 1 wurden Trainingsinhalte für die mobile Trainingsstation entwickelt, die sowohl den Themenschwerpunkt der internationalen Kernmaterialüberwachung als auch den Strahlenschutz abdecken. Die Szenarien zur internationalen Kernmaterialüberwachung umfassen die Siegelanbringung am CASTOR®-Behälter durch den Betreiber in der Reaktorhalle sowie die Siegelverifikation und den -austausch durch Inspektoren im Zwischenlager. Diese Inhalte befinden sich derzeit in der Umsetzungsphase.

Das Strahlenschutz-Trainingsszenario beinhaltet drei praxisnahe Szenen: die Suche und Abschirmung eines HotSpots, die Dekontamination einer auslaufenden Flüssigkeit und die Lokalisierung einer nicht visuell erkennbaren Kontamination. Die entsprechenden Trainingsinhalte wurden bereits ausgearbeitet, und die Bereitstellung für die Lernenden wird aktuell realisiert.

Zudem fand eine regelmäßige Abstimmung mit den Projektpartnern statt, insbesondere im Rahmen des halbjährlichen Verbundtreffens am Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) am 5. November 2024 in Aachen sowie durch weitere MS Teams-Besprechungen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Die unter 3. skizzierten Arbeiten im Rahmen von Modul 1 werden fortgesetzt. Die ersten VR-Prototypen der beiden Safeguards-Trainingsszenarien befinden sich nach ersten Tests nun in der Detailabstimmung zwischen Jülich, NUSEC, TU Dresden und Actimondo.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Bislang besteht kein Bezug zu anderen Vorhaben.

6. Berichte und Veröffentlichungen

[1] J. Kettler, "Digitale und KI-gestützte Lösungen für einen sicheren und effizienten Rückbau kerntechnischer Anlagen - Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „K.I.S.S.“, ATW Nr. 1 ISSN 1431–5254, 2025.

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9448E
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden – Center for Open Digital Innovation and Participation (CODIP)		
Vorhabenbezeichnung: VP: K.I.S.S. - Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement, TP: Kapazitätsaufbau durch virtuell erweitertes Training und Entwicklung der Wissensgemeinschaft		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2024 bis 30.04.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 414.910,89 EURO
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Thomas Köhler		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: thomas.koehler@tu-dresden.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Erprobung von aufeinander abgestimmten und miteinander verknüpften, digital und KI-gestützten Lösungen für das Wissens- und Projektmanagement zum Rückbau von kerntechnischen Anlagen, welche die Entwicklung und den Erhalt von Kompetenzen unterstützen sowie die Durchführung von Verfahrens- und Dokumentationsprozessen optimieren und vereinfachen sollen. Konkret werden dabei eine Community-Plattform für die Orientierung und den Austausch von Auszubildenden und Fachkräften der kerntechnischen Branche sowie eine mobile Trainingsstation mit einer Virtual Reality (VR)-Anwendung für die Kompetenzentwicklung, eine digitale Plattform für Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren sowie KI-gestützte Softwarewerkzeuge für den Rückbau konzipiert, umgesetzt und getestet.

Im Teilprojekt der Technischen Universität Dresden (TUD) liegt die Zielstellung u. a. in der Entwicklung von wissenschaftlich fundierten, pädagogisch-didaktischen Konzepten für Gestaltung und Implementierung der Community-Plattform und des VR-Trainings. Weiterhin unterstützt die TUD die Erstellung des Konzeptes für die KI-gestützten Softwarewerkzeuge – voraussichtlich in Form von Conversational Agents – unter didaktischen Gesichtspunkten. Weiterhin bringt die TUD ihre umfassende methodische Expertise ein, um Untersuchungsdesigns für die Durchführung von formativen und summativen User Experience- und Wirksamkeitstests der entwickelten Lösungen zu entwickeln und führt solche Tests am Standard Dresden auch selbst durch. Diese Tätigkeiten tragen maßgeblich dazu bei, dass eine wissenschaftlich fundierte und empirisch erprobte, ganzheitliche Lösung entsteht, welche die Kompetenzentwicklung und das Wissensmanagement zum Rückbau von kerntechnischen Anlagen mittel- und langfristig unterstützt, aufrechterhält und optimiert. Die dabei generierten Ergebnisse und Erkenntnisse werden sowohl wissenschaftlich verbreitet als auch in die Praxis der Fachkräftequalifikation transferiert.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Vorhaben ist in drei Fachmodule unterteilt:

Community-Plattform mit mobiler VR-Trainingsstation (Modul 1): Die webbasierte Plattform integriert verschiedene, digital gestützte Lösungen für den Erhalt und die Entwicklung von Fach- und Methodenkompetenz, wie beispielsweise einen Wissenspool, Kollaborationsfunktionen und eine mobile VR-Trainingsstation.

Digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben (Modul 2): Die digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben auf Basis der Blockchain-Technologie unterstützt Rückbauvorhaben durch die revisionssichere Übermittlung der Verfahrensunterlagen sowie die transparente Echtzeit-Kommunikation zwischen den Verfahrensbeteiligten.

KI-gestützte Prozessführung für den Rückbau (Modul 3): Werkzeuge für verschiedene Anwendungsfälle optimieren die Analyse und Aufbereitung von umfassenden Daten sowie die Organisation und Strukturierung der Endlagerdokumentation

Die Synergie der drei Module, die jeweils einen eigenen Anwendungsschwerpunkt haben, liegt im abgestimmten und weitmöglich vernetzten Einsatz der entwickelten Lösungen. Die TUD ist in die Entwicklungen in Modul 1 und Modul 3 eingebunden, fokussiert dabei insbesondere Aspekte der Didaktik, User Experience und Forschungsmethodik und schafft überdies im Rahmen von Qualifikationsmaßnahmen wie der Ausbildung von pädagogischen Fachkräften für die berufliche Bildung und Promovierenden mit bildungstechnologischen Themen einen Feldzugang.

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

Im Halbjahr II/2024 setzte die TUD ihre initialen Tätigkeiten in Modul 1 kontinuierlich fort und entwickelte federführend und in enger Abstimmung mit den fachdidaktischen Partnern jeweils ein pädagogisch fundiertes, mediendidaktisches Konzept für die Community-Plattform (AP 1.1) und die mobile Trainingsstation (AP 1.7). Konkret beinhaltet beispielsweise das Konzept für die Community-Plattform, dass Nutzende über je einen Bereich für Aktivitäten, Wissensgenese und Kollaboration abhängig von ihren individuellen Bedarfen und Präferenzen jeweils auf verschiedene Interaktionselemente (wie z. B. einen personalisierten Feed, ein Messaging-System sowie diverse Verzeichnisse und Bildungsressourcen) zugreifen und diese aktiv nutzen können. Diese Bereiche greifen wiederum auf einen gemeinsamen Wissenspool zu, wobei KI-Werkzeuge bei der personalisierten Nutzung unterstützen (siehe Abbildung 1). Die Konzepte dienten als Grundlage für die Entwicklung erster Prototypen, die von der TUD sowohl durch die Bereitstellung von didaktischem Know-How und Best-Practices (AP 1.7 und 1.8) als auch diverse Evaluationen und Nutzertests in frühen Stadien mit Studierenden und Fachkräften aus dem Kerntechnikbereich unterstützt wurden. Die Tests befassten sich sowohl mit potentiellen Nutzungstechnologien (wie z. B. verschiedenen VR-Headsets; AP 1.8) als auch vergleichbaren Systemen und den ersten Prototypen, die im Vorhaben umgesetzt wurden (AP 1.1 und 1.8). Die Testergebnisse zeigten einen weitgehend intuitiven Umgang durch die Testnutzenden, zu denen auch technologische Novizen gehörten, und eine insgesamt positive User Experience mit den entwickelten digitalen Angeboten und lieferten wichtige Erkenntnisse für die Weiterentwicklung. Zudem unterstützte die TUD bei der Identifizierung von relevanten pädagogischen und didaktischen Inhalten aus den Vorarbeiten der Verbundpartner sowie bei der Definition von Formatstandards, etwa hinsichtlich Metadaten und Medienformaten für die geplante Plattform (AP 1.2). In Modul 3 brachte die TUD ihre Expertise aus diversen Vorarbeiten zum Einsatz von Large-Language-Models (LLMs) in Verbindung mit Conversational Agents und Webplattformen ein, um Anforderungen und geeignete Anwendungsfälle für die KI-gestützte Prozessführung im Rückbau zu bestimmen und zu beschreiben sowie zu modellieren (AP 3.1). Zudem unterstützte sie bei der Bewertung und Priorisierung von geeigneten Sprachmodellen für die technische Umsetzung (AP 3.2). Diese Vorarbeiten dienten als wesentliche Grundlage für die Auswahl von drei priorisierten Anwendungsfällen für die Entwicklung: einem Benchmarking-Assistenten für Regelwerke, einer KI-gestützten Abfallmanagement- und Dokumentationslösung für den Rückbau von kerntechnischen Anlagen und einem KI-Assistenten für die Container-Dokumentation. Zum Zwecke des Wissenstransfers stellte die TUD dem Konsortium schließlich eine Reihe von bildungswissenschaftlichen Publikationen, wie etwa zu grundlegenden Wirkungsmodellen und fachspezifischen Studien zum (bisherigen)

Einsatz von VR für die Kompetenzentwicklung (im Kernkraftbereich) bereit (AP 4.2) und unternahm erste Überlegungen zur Analyse der Transferoptionen in die Wissenschaft und die Praxis der Personalentwicklung (AP 4.3).

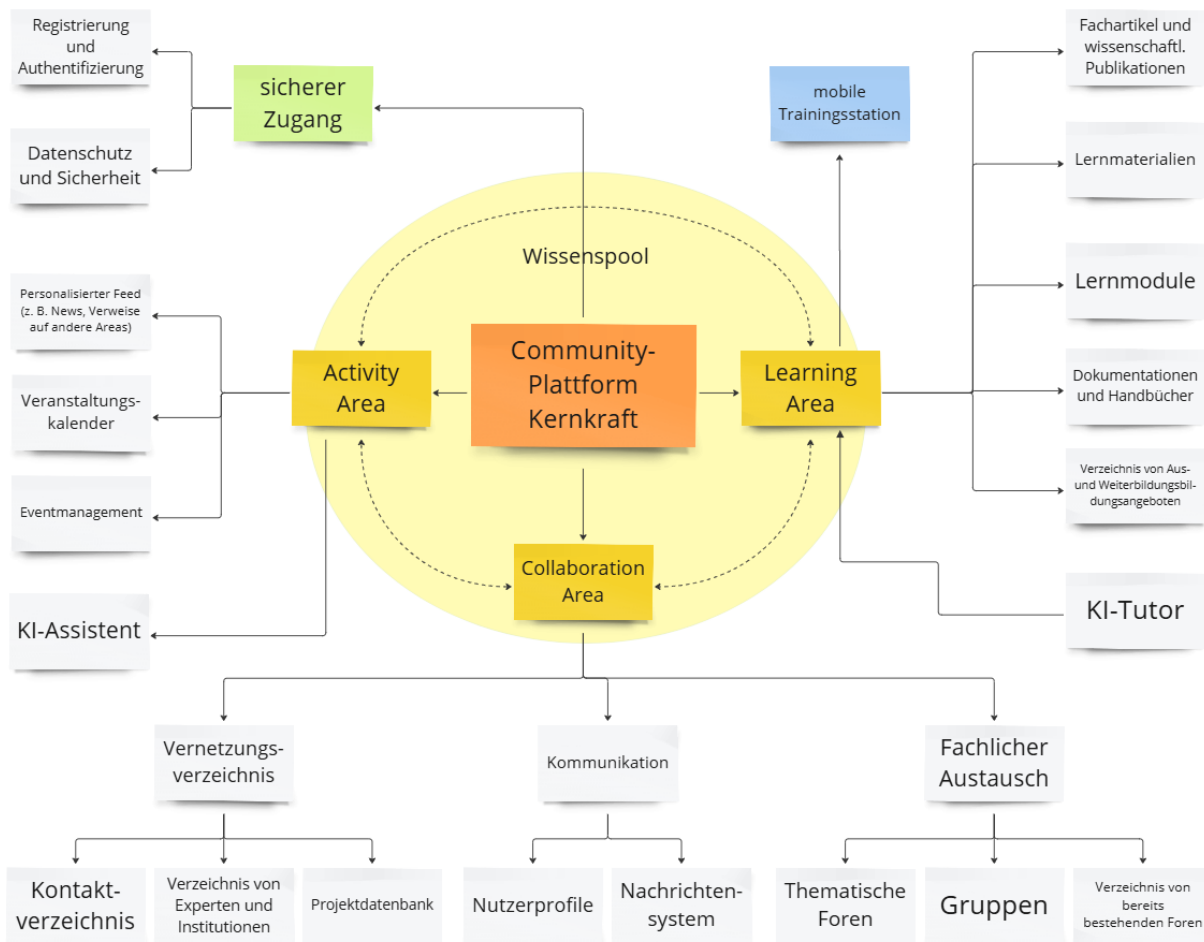


Abbildung 2: Mediendidaktisches Konzept der Community-Plattform mit Anbindung der mobilen VR-Trainingsstation

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im Halbjahr I/2025 wird die TUD die iterative Weiterentwicklung der Konzepte und Prototypen in den Modulen 1 und 3 weiterführend und intensiviert unterstützen. Dies umfasst sowohl die Präzisierung und Optimierung von Qualitäts- und Formatstandards (AP 1.1) als auch die Durchführung von weiteren Nutzertests zur Untersuchung der Zielgruppenkompatibilität und User Experience der Community-Plattform-Prototypen (AP 1.4) sowie der Wirksamkeit des VR-gestützten Trainings (AP 1.7). Zudem berät die TUD die Verbundpartner bei der Erstellung von technischen Systementwürfen und Umsetzungskonzepten für die KI-gestützten Werkzeuge für die Prozessführung im Rückbau (AP 3.2). Auch wird sie sich eingehender mit der bildungsadministrativen Dimension befassen (AP 4.2), um erste Konzepte zur Integration der entwickelten Lösungen in bestehende Aus- und Weiterbildungsprogramme, etwa für Berufspädagogen, zu generieren (AP 4.3). Weiterhin werden bildungswissenschaftliche Transfermöglichkeiten konkretisiert und in Form von Publikationen umgesetzt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Im Rahmen des Verbundes wurden der Austausch mit bereits laufenden bzw. in Kürze beginnenden, technologischen Entwicklungsvorhaben im Kernkraftbereich, wie EducTUM und KIKO, intensiviert und Kooperationsmöglichkeiten konkretisiert. Weiterhin erfolgte ein intensiver Austausch mit dem BMBF-geförderten Vorhaben Kraft-KoPilot, das derzeit eine gamifizierte und KI-gestützte Lern- und Vernetzungsplattform zur Förderung der Gesundheitskompetenz von Young Adult Carers entwickelt und erprobt. Der dabei getätigte Wissenstransfer bezog sich insbesondere auf die mediendidaktische Konzeption solcher Plattformen (AP 1.1), die Analyse und Bewertung von State-of-the-Art-LLMs sowie die mediendidaktische Gestaltung von KI-gestützten Softwarelösungen und insbesondere Conversational Agents (AP 3.2).

6. Berichte und Veröffentlichungen

Kettler, J., Wipper, D., Anthofer, A., Grauel, B., Koslowski, D., Göpel, C., Nester, A., Löwig, M., Hammoud, R., Ibeawuchi, P., Grahlmann, J., Wiesel, H., Rathaus, A., Möllerke, F., Seher, H., Mönig, H., Dierschow, F., Spanier, R., Dewald, M., Britz, S., Herb, J., ... Thomas, A. (in Vorb.). Digitale und KI-gestützte Lösungen für einen sicheren und effizienten Rückbau kerntechnischer Anlagen - Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „K.I.S.S.“. In *atw International Journal for Nuclear Power*, 70(1), 41–48.

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9448F
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Advanced Nuclear Fuels GmbH, Am Seitenkanal 1, 49811 Lingen		
Vorhabenbezeichnung: VP: K.I.S.S: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement, TP: Modernste Lernkonzepte und Didaktiken für nachhaltigen Kompetenzerhalt und Aufbau mit dem Competence.hub		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2024 bis 30.04.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 155.116,99€
Projektleiter/-in: Dr. Hendrik Wiesel		E-Mail-Adresse des Projektleiters: Hendrik.wiesel@framatome.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Projekts K.I.S.S. ist es, eine integrierte Plattform für das effiziente Rückbau- und Genehmigungsmanagement von kerntechnischen Anlagen mit Fokus auf Kompetenzerhalt, Strahlenschutz und KI-gestützter Prozessführung zu entwickeln. Das Projekt ist in drei Fachmodule unterteilt, die jeweils eine innovative Lösung für die Qualifizierung von Fachkräften, das Genehmigungsmanagement und die Prozessführung für den Rückbau darstellen. Die Plattform soll die Sicherheitskultur in der Kerntechnik stärken, den Wissensaustausch und -erhalt fördern, die Kommunikation und Transparenz zwischen den Beteiligten verbessern und die Position deutscher Akteure im internationalen Rückbaumarkt sichern.

Das Competence.hub der Advanced Nuclear Fuels GmbH wird innerhalb des Verbundprojektes (Modul 1) eine moderne hybride Lernplattform entwickeln, die Lerninhalte zu Themen rund um das K.I.S.S. Projekt on-demand zur Verfügung stellt. Die heutige "Generation Z" ist die erste Generation, die voll digitalisiert aufwächst bzw. aufgewachsen ist. Dementsprechend muss die Lernumgebung auf die Bedürfnisse und Erwartungen dieser und zukünftiger Generation angepasst werden, will man sicherstellen, dass Wissen auch effektiv transferiert wird. Es wird der Ansatz eines Multilevel-Lernkonzepts angestrebt: Eine Kombination aus Präsenzveranstaltungen und ein Mix aus verschiedenen Medienarten (Blended-Learning) wie z.B. e-learning Videos, Podcast und Animationsfilme. Gepaart wird dies mit Gamification- Elementen, die einen hohen Transfergrad an Informationen erwirken, gegenüber klassischen und traditionellen Tagesseminare. Des Weiteren werden neueste empirische und didaktische Erkenntnisse der Lehre berücksichtigt und teilweise übernommen, um die Wissensvermittlung nach State-of-the-art durchzuführen. Zudem werden für die Qualifizierung von Mitarbeitenden für Tätigkeiten im kerntechnischen Umfeld moderne Trainings- und Lernmanagementkonzepte entwickelt, die auf Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) basieren. Das Ziel des Vorhabens und des Arbeitspakets der Advanced Nuclear Fuels GmbH ist es, den Einsatz dieser Technologien so weit zu entwickeln, dass den Trainees ein möglichst realistisches Empfinden im Bereich des Strahlenschutzes und der Arbeit in Kontrollbereichen ermöglicht wird. Wir werden diese Technologie als zentralen Bestandteil (hybriden) Lernumgebung einsetzen. Das Lösungskonzept besteht aus einem Kursprogramm, das On-line-Kurseinheiten und Präsenzseminare sinnvoll miteinander verknüpft.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das K.I.S.S. Projekt ist in drei Fachmodule unterteilt:

1. Modul 1: Hybride und innovative Community-Plattform - Ziel ist es, durch aufeinander abgestimmte und miteinander verknüpfte Lösungen (Digital Smart Campus, mobile Trainingsstation, Lernmanagementumgebung etc.) das Wissens- sowie Projektmanagement im Bereich Rückbau- und Genehmigungsverfahren von kerntechnischen Anlagen zu stärken.
2. Modul 2: Digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben - Ziel ist es, eine digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben auf Basis der Blockchain-Technologie zu entwickeln, um die revisionssichere Übermittlung der Verfahrensunterlagen sowie die transparente und in Echtzeit geführte Kommunikation zwischen den Verfahrensbeteiligten zur Beschleunigung der Projekte zu ermöglichen.
3. Modul 3: KI-gestützte Prozessführung für den Rückbau - Ziel ist es, ein Managementsystem zur KI-gestützten Prozessführung für den Rückbau zu realisieren, damit die umfangreichen Daten besser aufbereitet werden können, sowie die Organisation und Strukturierung der Endlagedokumentation optimiert werden.

Jedes Modul hat für sich einen eigenen Anwendungsschwerpunkt, wobei die Synergie im abgestimmten Einsatz der Basistechnologien bzw. Softwarelösungen begründet ist.

Das Competence.hub der Advanced Nuclear Fuels GmbH wird im ersten Schritt ein gesamtheitliches Lernkonzept/-formats in Verbindung mit einer digitalen Lernplattform zur digitalen Wissensvermittlung entwickeln. Dieses soll später an das Digital Smart Campus angedockt werden können. Dabei unterstützt das Competence.hub bei der Integration.

Jedes Modul hat für sich einen eigenen Anwendungsschwerpunkt, wobei die Synergie im abgestimmten Einsatz der Basistechnologien bzw. Softwarelösungen begründet ist.

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

AP1.1: In regelmäßigen Arbeitsmeetings wurden die Eckpunkte des Arbeitspakets 1 mit den entsprechenden Verbundpartnern abgestimmt. Darüber hinaus fand am 5. Dezember ein Verbundtreffen am FIR an der RWTH Aachen mit allen Verbundpartnern und dem Projektträger statt. Während dieses Treffens wurden das Gesamtvorhaben organisatorisch und inhaltlich abgestimmt. Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete wurden vorgestellt, um das Gesamtvorhaben zielgerichtet und koordiniert bearbeiten zu können.

Zudem wurden die Grundlagen für den Prototyp des Digitalen Smart Campus (DSC) geschaffen, und die Use Cases wurden untereinander abgestimmt. Die Schnittstellen zwischen dem Competence.hub und dem DSC wurden inhaltlich und technisch diskutiert.

AP1.2: Es wurden sowohl externe als auch interne Wissenspools und Lernplattformen untersucht. Aus diesen Untersuchungen sowie durch den Austausch mit Organisations- und Arbeitspsychologen wurden zwei Kurskonzepte grob ausgearbeitet. Diese Kurse sollen Quereinsteigern bzw. Neueinsteigern sowie Managern in der Kerntechnik relevante (Sicherheits-)Inhalte, Kompetenzen, Werkzeuge und Wissen vermitteln. Ziel ist es, dass sie sicher und kompetent in kerntechnischen Umgebungen arbeiten und Sicherheitskulturen fördern können. Hierfür wurde ein erstes didaktisches Konzept entwickelt, um gemäß der Wissenstreppe nach K. North (Wissen 4.0, DOI: 10.1365/s40702-018-0426-6) echte Kompetenzen zu schaffen und eine sicherheitsgerichtete Kultur zu fördern.

AP1.6/1.7/1.8: In wöchentlichen digitalen Arbeitsmeetings wurden unter anderem die Auswahl geeigneter VR-Szenarien, die Auswahl passender Hardware (Metaquest 3 -> mit Fokus auf Per-

formance und Integration) sowie der Beginn einer Probephase mit der von der Firma NUSEC bereitgestellten virtuellen Umgebung erarbeitet. Darüber hinaus wurde der VR-Use-Case mit den Trainingskonzepten des Competence.hubs mit der TU Dresden abgestimmt, um zukünftige Anwendungsfälle zu entwickeln bzw. einzubinden. Die virtuelle Umgebung wird derzeit im Competence.hub getestet. Erste digitale Lerninhalte in Form von E-Learning-Videos wurden erstellt, um diese später im DSM (Digitaler Smart Campus) zu erproben.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Im weiteren Verlauf werden die Arbeitspakete AP1.1; AP1.2; AP1.3; AP1.4; AP1.8; AP1.9 weiter ausgeführt, mit den Partnern regelmäßig ausgetauscht, weiterentwickelt, mit konkreten Inhalten versehen und ganzheitlich mit den Partnern abgestimmt, so dass das spätere Ergebnis im Digital Smart Campus angeschlossen werden kann, gemäß der Vorhabensbeschreibung.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

ATW, International Journal for Nuclear Power; Digitale und KI-gestützte Lösungen für einen sicheren und effizienten Rückbau kerntechnischer Anlagen – Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „K.I.S.S.“; ISSN: 1431-5254 (Print), Vol.70 (2025)

Berichtszeitraum: 01.07.2024 bis 31.12.2024		Förderkennzeichen: 15S9448G
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Dornier Hinneburg GmbH (ehemals Dornier Nuclear Services GmbH)		
Vorhabenbezeichnung: VP: K.I.S.S. - Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement, TP: Digitale Transformation im Strahlenschutz: Effizienzsteigerungen durch int. Softwarelösungen		
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2024 bis 30.04.2027		Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 132.335,96 €
Projektleiter/-in: Dr. Anton Philipp Christoph Anthofer		E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: anton.anthofer@dornier-group.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Ziel des Projekts K.I.S.S. ist es, eine integrierte Plattform für das effiziente Rückbau- und Genehmigungsmanagement von kerntechnischen Anlagen mit Fokus auf Kompetenzerhalt, Strahlenschutz und KI-gestützter Prozessführung zu entwickeln. Das Projekt ist in drei Fachmodule unterteilt, die jeweils eine innovative Lösung für die Qualifizierung von Fachkräften, das Genehmigungsmanagement und die Prozessführung für den Rückbau darstellen. Die Plattform soll die Sicherheitskultur in der Kerntechnik stärken, den Wissensaustausch und -erhalt fördern, die Kommunikation und Transparenz zwischen den Beteiligten verbessern und die Position deutscher Akteure im internationalen Rückbaumarkt sichern.

Personell steuert DORNIER mit erfahrenen Projektingenieur:innen Perspektiven für die Realisierung des Vorhabens aus Dienstleistersicht bei. Dabei ist DORNIER an der Konzeption und Entwicklung aller drei Fachmodule für die Plattform beteiligt sowie an der modulübergreifenden Projektkoordination und dem Wissenstransfer des Projekts in Forschung und Praxis.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das K.I.S.S. Projekt ist in drei Fachmodule unterteilt:

1. Modul 1: Hybride und innovative Community-Plattform - Ziel ist es, durch aufeinander abgestimmte und miteinander verknüpfte Lösungen (Digital Smart Campus, mobile Trainingsstation, Lernmanagementumgebung etc.) das Wissens- sowie Projektmanagement im Bereich Rückbau- und Genehmigungsverfahren von kerntechnischen Anlagen zu stärken. DORNIER unterstützt die Entwicklung eines didaktischen Konzepts und Identifikation von geeigneten Trainingsseanrios und –inhalten für die mobile Trainingsstation. Bezüglich der Online-Community wird DORNIER neben Fachwissen für inhaltliche Themen, die Definition und Ansprache von geeignetem Fachpersonal, für die Rolle der Community-Manager unterstützen.
2. Modul 2: Digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben - Ziel ist es, eine digitale Plattform für Genehmigungsvorhaben auf Basis der Blockchain-Technologie zu entwickeln, um die revisionssichere Übermittlung der Verfahrensunterlagen sowie die transparente und in Echtzeit geführte Kommunikation zwischen den Verfahrensbeteiligten zur Beschleunigung der Projekte zu ermöglichen. Durch DORNIER wird Erfahrung im Prozessablauf und mit bereits realisierten Softwarelösungen beige-steuert. Weitere Einblicke in Dokumentationsmanagement bereichern das Portfolio. DORNIER liefert Reviews und Ergänzungen sowie Mitarbeit bei einzelnen Arbeitsschritten.

3. Modul 3: KI-gestützte Prozessführung für den Rückbau - Ziel ist es, ein Managementsystem zur KI-gestützten Prozessführung für den Rückbau zu realisieren, damit die umfangreichen Daten besser aufbereitet werden können sowie die Organisation und Strukturierung der Endlagedokumentation optimiert werden. DORNIER bringt Erfahrungen ein, um die typischen Prozesse im Rückbau darzustellen und arbeitet bei der Gestaltung von Anwendungsfällen mit, bei denen KI den Prozess unterstützen kann. DORNIER beteiligt sich auch an der Bewertung und Prüfung möglicher Lösungen, die von den Partnern auf der Grundlage praktischer Daten und Erfahrungen mit dem Rückbau und der Entsorgung von kerntechnischen Anlagen angeboten werden.
 4. Modul 4: Projektkoordination und Wissenstransfer – DORNIER übernimmt den Lead in den Bereichen Informationsmanagement und der Definition von Transferangeboten. Ziel ist es, Kommunikationsschnittstellen zwischen den beteiligten Unternehmen und Modulen zu koordinieren und Transferoptionen in Wissenschaft und Wirtschaft aktiv zu fördern.
- Jedes Modul hat für sich einen eigenen Anwendungsschwerpunkt, wobei die Synergie im abgestimmten Einsatz der Basistechnologien bzw. Softwarelösungen begründet ist.

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

Übergreifend:

Teilnahme an regelmäßigen JF und Projekttreffen

Teilnahme am K.I.S.S.-Verbundtreffen

Modul 1:

- Definierung von Wissenspools und Bereitstellung/Überarbeitung von eigenen Inhalten für den DSC
- Festlegung und Definition von Trainingsszenarien die in VR dargestellt werden sollen
- Mitwirkung an der Konzeptentwicklung, Bedarfs- & Zielgruppenanalysen für VR-Trainingsszenarien der mobilen Trainingsstation
- Unterstützung der Technologieauswahl für die mobile Trainingsstation
- Durchführung von Anwender-Tests an den VR-Builds

Modul 2:

- QS der von actimondo, fir und GRS ausgearbeiteten Stakeholder-Profile, Value Flow Models und Business Process Maps
- QS des von fir und actimondo entwickelten Interviewleitfadens
- Mitwirkung an einem gemeinsamen Workshop mit Stakeholdern
- Mitarbeit bei der Auswertung der Workshops und Experteninterviews
- Mitwirkung an der Ausgestaltung und am Systementwurf der digitalen Plattform

Modul 3:

- Teilnahme an regelmäßigen JF und Projekttreffen
- Verschiedene Use Cases des Rückbau- und Freigabe- verfahren geschrieben, die in LLM oder Generative KI verwendet werden können.
- Ergebnisse in der Anforderungsanalyse dokumentiert und alle erforderlichen Abschnitte für die Use Cases ausgefüllt.
- Alle Fragen unserer Partner zu den Use Cases beantwortet.
- Zur Priorisierung der Use Cases beigetragen, die von unserem Team und unseren Partnern entwickelt wurden.
- User Stories für die ausgewählten Use Cases erstellt.

Modul 4:

- Konzeptentwicklung, Kalkulation, Vorstellung und gemeinsame Festlegung der entwickelten Summer-School Programme (NewClear) mit den Projektpartnern
- Einbindung von Promovierenden des SDEC-Graduiertenkollegs in das Projekt K.I.S.S.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Modul 1

- Konzeptentwicklung für die Einbettung der VR-Trainings in ein geeignetes didaktisches
- Unterstützung bei der Konzeption und Integration einer Fachgruppe für Strahlenschutz für die SIFA-Community
- Durchführung von Anwender-Tests und Evaluierung an den verschiedenen VR-Trainings

Modul 2

- Teilnahme an regelmäßigen Jour fixe-Terminen
- Test und Validierung des Mock-Ups der digitalen Umsetzung der erstellten Plattform
- Test und Validierung des basierend auf dem Mock-Up erarbeiteten Entwurfs für die digitale Plattform in Hinblick auf Schnittstellen und Integrationsfähigkeit mit vorhandener Software und allgemeine Anwendbarkeit im Kontext von Genehmigungsverfahren

Modul 3

- Prüfung und Bewertung der von den Partnern entwickelten Lösungsmöglichkeiten anhand von Praxis- und Anwendungsdaten aus dem Rückbau und der Entsorgung von kerntechnischen Anlagen.
- Prüfung und Bewertung der grundsätzlichen Eignung durch ein Technologie Scouting sowie Diskussion der Ergebnisse mit den Projektpartnern
- Teilnahme an regelmäßigen Jour fixe-Terminen
- Teilnahme am K.I.S.S.-Verbundtreffen

Modul 4:

- Organisation und Durchführung der Summer School NewClear vom 11-13. Juni 2025

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es wurde Kontakt mit Verantwortlichen des Vorhabens EducTUM an der TU München und dem Forschungsprojekt KIKO aufgenommen, um die Vorteile einer Kooperation zwischen beiden Vorhaben zu erörtern.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Co-Autorschaft für einem Artikel in der atw 2025 (International Journal of Nuclear Power) mit dem Titel: Digitale und KI-gestützte Lösungen für einen sicheren und effizienten Rückbau kerntechnischer Anlagen. Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben "K.I.S.S."

**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