

Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
1. Januar - 30. Juni 2024

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Fortschrittsbericht

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

Berichtszeitraum
1. Januar - 30. Juni 2024

Vom Bundesministerium
für Bildung und Forschung
geförderte Vorhaben

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

GRS - F - S 24-I

Vorwort

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

(Auszug aus dem Förderkonzept „FORKA - Forschung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen“)

Mit dem Förderkonzept „FORKA - Forschung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen“ unterstützt das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) durch die Entwicklung und Optimierung technologischer Lösungen und durch die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses die Bewältigung der anstehenden Aufgaben.

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

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

Die inhaltliche Gliederung der Berichtssammlung orientiert sich an den fachlichen Schwerpunkten des Förderkonzeptes FORKA (Bekanntmachung der Förderrichtlinie zum Förderkonzept FORKA von 2023). Die Anordnung der Berichte innerhalb der fachlichen Schwerpunkte erfolgt nach aufsteigenden Förderkennzeichen

Verantwortlich für den Inhalt der Fortschrittsberichte sind deren Verfasser. Die GRS übernimmt keine Gewähr insbesondere für Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter.

Förderkennzeichen	Themenbereich	Seite
01.	Zerlege- und Dekontaminationsverfahren	
15S9429A	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Simulationsbasierte Werkzeugauslegung und Untersuchung des Einsatzverhaltens	7
15S9429B	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Bindungs- und fertigungsspezifische Seilschleifwerkzeugentwicklung	10
15S9429C	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Einfluss der Verwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung auf die im industriellen Rückbau verwendete Maschinentechologie	13
15S9429D	VP: Hocheffiziente Seilschleifwerkzeuge mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Anwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung im industriellen Rückbau	16
15S9429E	VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Auslegung und Herstellung neuartiger Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schneidstoffanordnung	18
15S9430A	VP: Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogtrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen, TP: CAMG-Prozess	24
15S9430B	VP: Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogtrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen, TP: CAMG-Anwendung	27
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	31
15S9434B	VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA), TP: Analytik für die Beprobung von Beton	36
15S9434C	VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA), TP: Elektronische Ergebnisdokumentation, Beprobungsplanung und Wissensmanagement	38
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	43
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	46
15S9439A	VP: Autonome robotergestützte Reinigung und Vormessung (ARRIVE), TP: Prototypbau einer autonomen Anlage zur Dekontamination und radiologischen Messung	49
15S9439B	VP: Autonome robotergestützte Reinigung und Vormessung (ARRIVE), TP: Autonome Laserablation und radiologische Vormessung	53
15S9440A	VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont-2), TP: Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster	57
15S9440B	VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont-2), TP: Durchführung experimenteller Versuche und Auswertung der Versuchsmuster	60
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	63

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
15S9440D	VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKont-2), TP: Praxisversuche und Verifizierung	66
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	69
15S9444B	VP: Entwicklung eines Beprobungssystems inklusive qualitätsgesichertem Beprobungsverfahren für nicht zugängliche Bereiche (BERO), TP: Konstruktion und Herstellung eines innovativen Trägersystems inkl. Beprobungs- und Ausbaukopf für Rohrleitungen in nicht zugänglichen Bereichen	71
02.	Freigabeverfahren und konventionelle Entsorgungswege	
15S9431A	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie (QGRIS), TP: Gerätebau und -entwicklung	73
15S9431B	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie (QGRIS), TP: Bildrekonstruktionsverfahren	80
15S9431C	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, Richtungs aufgelöster In-Situ-Gammaspektrometrie (QGRIS), TP: Experimentelle Untersuchungen und Simulation	83
15S9431D	VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie (QGRIS), TP: Qualifizierung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen	87
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 Neutronenflussrechnungen und Experimenten	90
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	92
15S9447C	VP: Experimentell gestützte Berechnungen von Neutronenfeldern und den daraus resultierenden Aktivitäten in reaktorfernen Räumen (EBENE), TP: Probenahme und Bewertung	94
03.	Behandlung radioaktiver Abfälle	
15S9423B	VP: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (NaMaSK), TP: Durchführung von Versuchen mit radioaktivem Probenmaterial	96
15S9433A	VP: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagegerechten Konditionierung C-14-belasteter flüssiger organischer Abfälle (C14-Recycling), TP: Weiterentwicklung und Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Fraktionierung des Anodengases	100
15S9433B	VP: Weiterentwicklung und Piloterprobung eines Verfahrens zur endlagergerechten Konditionierung C-14-haltiger flüssiger organischer Abfälle (C14-Recycling), TP: Weiterentwicklung des Verfahrens zur totzeitarmen C-14 Bestimmung mittels Flüssigszintillation und Untersuchungen zur Freimessung von C-14-Rückständen n. elektrochemischer Behandlung	102

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
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	105
15S9441	Konditionierung von mittelaktiven (ILW) Ionenaustauscherabfällen aus der Chemischen System Dekontamination	107
15S9442	Charakterisierung und Dekontamination von i-Grafiten (i-GraDe)	110
04	Abfalldeklaration und Zwischenlagerung	
15S9432	Forschungsarbeiten zur Entwicklung eines bildgebenden, zerstörungsfreien Analyse- und Deklarationsverfahrens für radioaktive Abfallgebinde, basierend auf lasergetriebenen Neutronenquellen (ZARA-LAN)	113
15S9436A	VP: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (DABKO), TP: Koordination und Erstellung der BIM Modelle	117
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	119
15S9436C	VP Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (DABKO), TP: Datenbank	122
15S9443	Aus- und Weiterbildung sowie Kompetenzerhalt im Bereich der zerstörungsfreien Analyse von radioaktiven Stoffen und Abfallprodukten aus Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen (EducTUM)	125
15S9446A	VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebinden (ZIKA), TP Konzeption, Bau des Demonstrators und Durchführung von Test- und Praxisphase	128
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	131
15S9446C	VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebinden (ZIKA), TP: Planung und Projektberatung, sowie Vernetzung mit Experten aus dem Bereich der Kerntechnik	134
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	137
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	140
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	143
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	146

Förderkenn- zeichen	Themenbereich	Seite
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	149
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	151
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	154
15S9445C	VP: Einfluss der Mykorrhizosphäre von Bäumen auf die Bodenentwicklung und Erosionsverminderung von Uran-Bergbaufolgelandschaften (MykoBEst), TP: Wirtschaftliche Begleitung und Bewertung	156
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	158
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	160
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	162
15S9448D	VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.), TP: Safeguards sowie Partitioning	166
15S9448E	VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.), TP: Kapazitätsaufbau durch virtuell erweitertes Training und Entwicklung einer Wissensgemeinschaft	168
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	172
15S9448G	VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.), TP: Digitale Transformation im Strahlenschutz: Effizienzsteigerung durch int. Softwarelösungen	175

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9429A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen	
Vorhabenbezeichnung: VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil) TP: Simulationsbasierte Werkzeugauslegung und Untersuchung des Einsatzverhaltens	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 461.508,47 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: denkena@ifw.uni-hannover.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das übergeordnete Projektziel dieses Vorhabens ist die Verfügbarkeit neuartiger Seilschleifwerkzeuge, um die Produktivität des trockenen Seilschleifprozesses im kerntechnischen Rückbau zu steigern. Gleichzeitig soll die Erzeugung von radioaktiv kontaminierten Sekundärstoffen, wie Altwerkzeugen, durch eine erhöhte Standzeit der Werkzeuge verringert werden. Dies erfolgt durch eine definierte Anordnung der Schleifkörner. Durch eine deterministische Anordnung der Schleifkörner werden die Prozesskräfte gleichmäßig auf die verschiedenen Körner verteilt, wodurch ein gleichmäßiger Verschleiß am Schneidsegment resultiert. Hierdurch ist eine Steigerung der Zeitspanfläche durch eine Erhöhung der Prozessstellgrößen möglich. Die Herstellung von Schleifsegmenten mit definierter Kornanordnung erfolgt auf Grundlage einer vom IFAM Dresden und DIABÜ entwickelten Variante des Siebdruckverfahrens. Im Rahmen dieses Projektes werden außerdem neue Bindungswerkstoffe untersucht, mit dem Ziel, mehrlagige und selbstschärfende Schleifsegmente im Siebdruckverfahren herzustellen. In diesem Zusammenhang werden auch die technischen Grundlagen für eine massentaugliche Fertigung geschaffen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

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

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

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

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

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

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

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

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

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

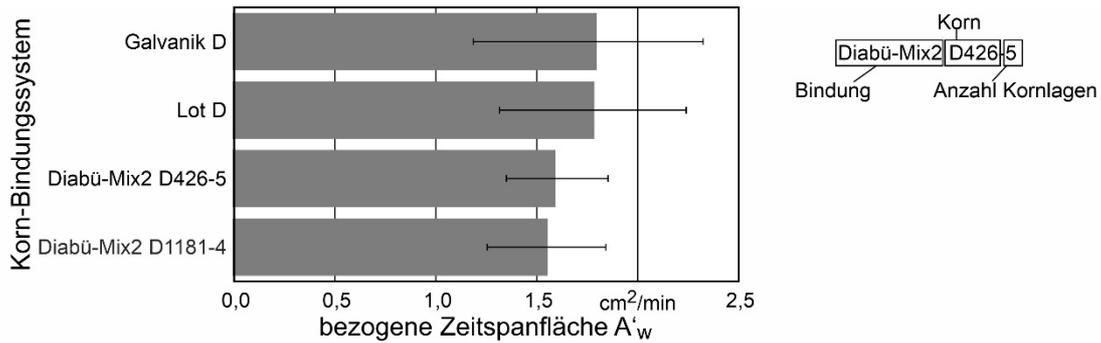
3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Wie im letzten Bericht dargestellt, konnte bisher im Projekt mit dem kubischen Bornitrid (cBN) kein signifikanter Kornüberstand hergestellt werden. Das cBN wurde sowohl beim initialen Schärfe als auch beim Kontakt mit dem Werkstück auf Höhe der Bindung abgetragen. Als Alternativen wurden daher in diesem Berichtszeitraum Abrasivkörner aus hochfesten polykristallinen cBN und Diamanten in zwei Korngrößen (D426, D1181) eingesetzt. Für die Werkzeuge mit Diamanten wurde eine diamantenkompatible Bindung der Fa. DIABÜ verwendet. Die Wärmebehandlung dieser Bindung findet bei niedrigeren Temperaturen als bei den eisenbasierten Bindungen statt, die bisher im Projekt für das cBN verwendet wurden. So kann eine Schädigung der Diamanten verhindert werden.

Proben aus diesen Werkstoffen wurden in Einkornritzversuchen im Quer-Tauchritzen eingesetzt. Zusätzlich wurden Versuche zum Schärfe einzelner Schleifsegmente mit Korundschärfsteinen unterschiedlicher Korngröße durchgeführt. Dabei bestätigten sich die im bisherigen Projektverlauf erzielten Ergebnisse. In den Einkornritzversuchen beträgt der maximale Spanungsquerschnitt zum Zeitpunkt des Kornbruchs für das cBN-Korn im Mittel $2.000 \mu\text{m}^2$. Der maximale Spanungsquerschnitt für das kleine Diamantkorn (D426) ist mit $4.000 \mu\text{m}^2$ doppelt so groß. Die Schlagfestigkeit des Diamantkorns ist also wesentlich höher als die des cBN-Korns. Der große Diamant (D1181) zeigte darüber hinaus bei einer maximalen Zustellung von $50 \mu\text{m}$ eine hohe Stabilität, sodass keine Ausbrüche resultierten. Ein vergleichbares Ergebnis zeigten die Versuche zum Schärfe. Während der Diamant beim Schleifen durch einen Korundstein mit Ausnahme vereinzelter Kantenbrüche nicht geschädigt wurde, wurde das cBN-Korn im gleichen Maß wie die Bindung abgetragen. Entsprechend war es nicht möglich mit dem cBN-Korn einen Kornüberstand herzustellen.

Auf Grundlage dieser Versuche wurde entschieden, im weiteren Projektverlauf kein kubisches Bornitrid mehr zu verwenden. Stattdessen wurden neue prototypische Seilschleifwerkzeuge mit deterministisch gesetzten Diamanten von den Projektpartnern hergestellt und auf dem Versuchsstand des IFW unter Variation der Prozessstellgrößen eingesetzt. In Bild 1 ist jeweils die mittlere bezogene Zeitspanfläche für die beiden deterministisch besetzten Diamantwerkzeuge und zwei verschiedene, einschichtige, kommerziell verfügbare Referenzwerkzeuge. Beide Referenzwerkzeuge erreichen im Mittel eine bezogene Zeitspanfläche von $1,8(3) \text{ cm}^2/\text{min}$. Der Prototyp mit Diamant D1181 erzielt im Mittel eine bezogene Zeitspanfläche von $1,5(2) \text{ cm}^2/\text{min}$ und der Prototyp mit D426 $1,6(1) \text{ cm}^2/\text{min}$.

Die bezogene Zeitspanfläche der Prototypen ist im Mittel $14(16) \%$ kleiner als die der Referenzwerkzeuge. Dieser Unterschied ist aufgrund der hohen Streuung jedoch nicht statistisch signifikant. Zusätzlich gilt es zu berücksichtigen, dass die industriellen Schleifwerkzeuge für die Stahlbearbeitung mit $44 - 46$ Segmenten pro Seilmeter besetzt sind. Die Prototypen mit deterministischem Muster hingegen besitzen nur 40 Segmente pro Seilmeter, wie es dem Stand der Technik für die Bearbeitung von Gestein oder Beton entspricht. Daraus folgt, dass aufgrund des definierten Setzmusters ein vergleichbarer Materialabtrag bei reduziertem Materialeinsatz erreicht werden kann.



Versuchsaufbau

Maschine: G+H
 Werkstück: Baustahl S355JR
 Werkzeuge: Diamant (gelötet, galvanisch)
 Prototypen (sintermetall. Bindung + D426/D1181)

Prozessstellgrößen

Schnittgeschwindigkeit v_c = 8; 9; 10 m/s
 Vorschubgeschwindigkeit v_f = 2; 4; 6 mm/min
 Vorspannkraft F_v = 400 N

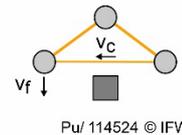


Bild 1: Ermittelte bezogene Zeitspanfläche für die neuen Prototypen mit deterministisch gesetztem Diamant sowie für zwei industriell hergestellte Referenzwerkzeuge.

4. Geplante Weiterarbeit

In Vorbereitung auf das Arbeitspaket 5 werden von den Projektpartnern IFAM und DIABÜ auf Basis dieser Prototypen lange Seilschleifwerkzeuge mit einer Länge von bis zu 11 m. Diese werden anschließend auf der Portalseilsäge des IFW und bei den Projektpartnern Cedima und CCD Diamanttechnik eingesetzt. Bei diesen experimentellen Schleifuntersuchungen erfolgt anwendungsnah die Ermittlung des Einsatz- und Verschleißverhaltens.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9429B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) – Institutsteil Dresden	
Vorhabenbezeichnung: VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil) TP: Bindungs- und fertigungsspezifische Seilschleifwerkzeugentwicklung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 464.794,30 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Thomas Weißgärber	E-Mail-Adresse des/des Projektleiters/-in: thomas.weißgärber@ifam-dd.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

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

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

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

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

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

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

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

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

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

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

Im aufgeführten Berichtszeitraum war das Ziel der Arbeitspakete die Erstellung von Seilschleifwerkzeugen für die Anwendungstests bei den Industriepartnern. In den Analogietests wurde bei den Forschungspartnern festgestellt, dass die CBN Schleifkörnung sich für den Einsatz als geordnete Setzmuster nicht optimal einsetzen lässt. Die Performance der CBN Seilschleifperlen wurde im Berichtszeitraum durch eine weitere Iterationsschleife mit Diamantschleifkörnungen erweitert und im Vergleich getestet. Hierfür mussten die Werkstoffe für die Diamantbindung leicht modifiziert werden. Durch die zusätzlichen Untersuchungsarbeiten konnte im Berichtszeitraum die Technologiegrundlagen für eine Fertigung über 3D-Druckprozesse weiter ausgebaut und im Rahmen der Drucke für die zu testenden Schleifperlen die Parameter für die Prozesse angepasst werden. Ziele wie ein konstanter Druckprozess bei minimaler Fehlerrate und die Parameter der Setzung von Schneidpartikeln wurden erfolgreich spezifiziert und mit relevanten Faktoren unterlegt.

Es wurden bei den Untersuchungen relevante Zusammenhänge kontinuierlich unter Laborbedingungen verbessert. So konnten für die CBN Schleifkörnung und die Diamant Schleifkörnung signifikante Verarbeitungs- und Fertigungsparameter im Vergleich untersucht und bewertet werden. Durch die Erweiterung der Arbeiten auf Diamant Schleifpartikel, welche im Berichtszeitraum mit eingebunden wurden, ist durch das Zusammenspiel von Setzwerkzeugen und Materialparametern eine optimale Schleifkornfüllung in den gedruckten Seilschleifperlen umgesetzt (Abbildung 1).

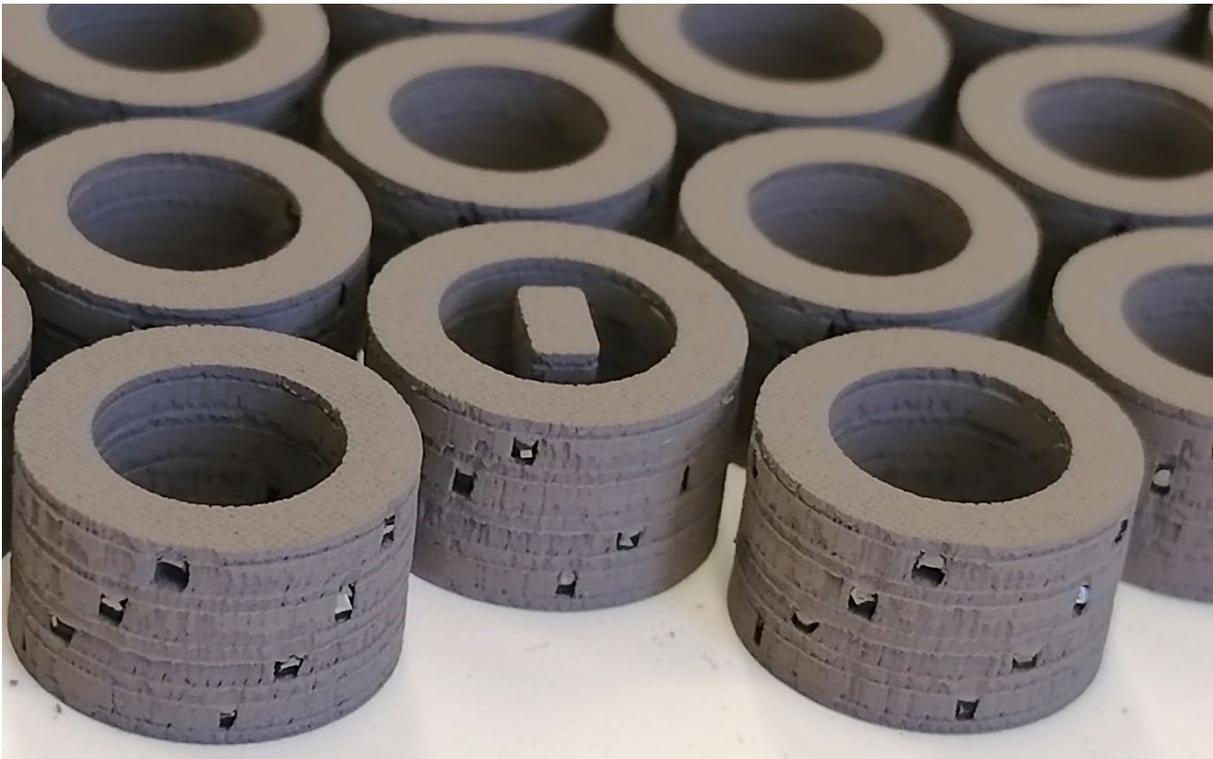


Abbildung 1: Nach dem 3D Druck und mit 16/18 mesh Diamanten bestückte Schneidperlenkörper unter Laborbedingungen für die Schleifseil-Einsatztest. ©Fraunhofer IFAM

Alle im Berichtszeitraum erstellten Testperlen mit CBN und Diamant Schleifkörnungen für die Analogietests konnten mit den bereits in Vorversuchen ausgearbeiteten Setzmusteranordnungen SM-1 (gerade) und SM-2 (schräg) und einer Kornbeladung von 6,7 vol.-% bis 18,2 vol.-% umgesetzt und anschließend beim Projektpartner IFW der Universität Hannover auf dem Analogieteststand untersucht werden.

Für diese Testseil-Schleifperlen wurden 4 bis 5 Schleifkornlagen mit Versatz in den Lagen verwendet. Diese Setzmusteranordnung soll den stetigen Schleifkorn-Eingriff im Seilschleifprozess sicherstellen. Für die Sinterung der gedruckten Schleifperlen wurden am Fraunhofer IFAM Dresden die relevanten Anhaltspunkte für ein optimiertes Wärmebehandlungsprogramm evaluiert. Neben dem Ziel der Energieoptimierung stand hierbei die Bauteilschwindung zum gezielten Aufschumpfen der gedruckten Schleifkörper auf die Seil-Trägerhülsen mit mechanisch festem Verbund im Fokus der Arbeiten. Je nach verwendetem Legierungssystem wurde hierbei ein sinterbedingter linearer Schwindungswert der Bauteile von 14 % bis 21 % ermittelt und dieser liegt somit im üblichen Rahmen für sinterbasierte additive Bauteile. Alle gedruckten Schleifperlenmuster wurden anschließend dem Projektpartner DIABÜ zur Umsetzung als Schleifseil weitergereicht und dort finalisiert.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP3.4: In diesem Arbeitspaket ist die Fertigung von Testperlen für die Erstellung von Schleifseilen für die weiteren Einsatz- und Validierungstest vorgesehen. Die Ergebnisse stellen hierbei die Grundlage für die in Arbeitspaket 4 zu erstellenden Schleifperlen dar.

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

AP5.1: Der Arbeitspunkt greift die Daten aus den vorangegangenen Versuchsreihen auf und überführt diese in Kalkulationen, Berechnungen und Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit des im Projekt betrachteten Bauteil- und Fertigungsansatzes.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9429C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CEDIMA Diamantwerkzeug und Maschinenbaugesellschaft mbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil) TP: Einfluss der Verwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung auf die im industriellen Rückbau verwendete Maschinentechologie	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 55.467,41 €
Projektleiter/-in: Mirko Kniese	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: mirko.kniese@cedima.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

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

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

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

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

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

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

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

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

AP 1.1: Das Simulationsmodell wird stetig erweitert und angepasst.

AP 1.2: Es werden weitere Simulationen mit dem Ziel der optimalen Setzparameter und Korngrößen durchgeführt. Zusätzlich werden Simulation mit den neu erarbeiteten Parametern durchgeführt. Das Simulationsmodell wird erweitert und erhält neue Parameter.

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

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

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

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 1559429D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: CCD Diamanttechnik	
Vorhabenbezeichnung: VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Anwendung von Seilschleifwerkzeugen mit deterministischer Schneidstoffanordnung im industriellen Rückbau	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.05.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 51.151,28 €
Projektleiter/-in: Uwe Gerecke	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: ug@ccd-diamanttechnik.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

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

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

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

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

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

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

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

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell Untersuchung der Leistungsfähigkeit der neuen Seilschleifwerkzeuge an praxisnahen Probekörpern und auf einem Rückbauprojekt. Erarbeitung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schleifkornanordnung.

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Im ersten Halbjahr 2024 hat CCD Diamanttechnik zwei im Zusammenhang mit dem Projekt interessante Aufträge für Industriekunden bearbeitet. Es handelte sich in beiden Fällen um vertikale Trennschnitte durch Hochdruckwärmetauscher für Reparaturzwecke, d.h. die Anforderungen an die Präzision der Schnitte bezüglich der Rechtwinkligkeit zur Längsachse der Behälter und die Ebenheit der gesamten Schnittfläche waren erheblich größer als bei einem Rückbau. Mit der Seilschleiftechnik ließen sich die Erwartungen der Auftraggeber noch übertreffen, so dass Folgeaufträge zu erwarten sind. Es konnten lediglich handelsübliche Seile eingesetzt werden, da Siebseile in ausreichender Länge erst in der zweiten Jahreshälfte verfügbar sein werden.

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

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Verfügbarkeit von Siebseilen in geeigneten Längen von mindestens 6,50m bis 20m steht bevor. Diese Seile werden dann zeitnah bei geeigneten Projekten zum Einsatz kommen. Dafür stellt die Firma Cedima eine Antriebsmaschine zur Verfügung, die es ermöglicht, auch auf Baustellen während des Betriebes laufend mehrere Einsatz Parameter zu erfassen und zu dokumentieren.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Diverse Anwendungen der Seilschleiftechnik im industriellen Bereich

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9429E
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: DIABÜ-Diamantwerkzeuge Heinz Büttner GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil), TP: Auslegung und Herstellung neuartiger Seilschleifwerkzeuge mit deterministischer Schneidstoffanordnung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 72.706,62 €
Projektleiter/-in: Dirk Büttner	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: buettner@diabue.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1: Auslegung der Schleifsegmente und Bindungswerkstoffe

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

AP 2: Fertigungsentwicklung Prototypenperlen

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

AP 3: Analogieuntersuchungen mithilfe einer Ritzscheibe und iterative Optimierung

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

AP 4: Einsatzuntersuchungen/Validierung

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

AP 5: Optimierung der Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeitsmodell

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

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

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

Die deterministischen Kornanordnungen wurden ausgewählt/festgelegt und am IFAM 3D-gedruckt. Zusätzlich wurden neue Recherchen für besser geeignete Bindungswerkstoffe durchgeführt und eine Bindung FC82 entwickelt, die sich bei 850°C sintern lässt. Im Januar 2024 wurde diese Bindung weiterentwickelt und daraus erste Hybrid-Schneidperlen (Kombination Diamant und CBN) für Versuchseile im Steinwerk Tringenstein hergestellt.

Durch zusätzliche Sintertests und Parameteroptimierungen im ersten Halbjahr 2024 konnte die Matrixdichte gesteigert und verbessert werden. Durch die niedrige Sintertemperatur mit den neu entwickelten Bindungsmatrizen, wurde der Diamant nicht grafitisiert oder geschädigt.

Diese neuen Hybridsägeeseile wurden erfolgreich in Naturstein eingesetzt, wodurch diese Ergebnisse auf den möglichen Rückbau von Stahlstrukturen mit oder ohne Beton schließen lassen und durch Versuche beim IFW bestätigt wurden. Schleifversuche zeigten die Problematik beim Schärfen der CBN-Perlen, da das Korn den Belastungen nicht standhielt und auf Bindungsniveau kaputt splitterte. Dadurch hatte die reinen CBN-Seile beim IFW keine Schnittleistung in Stahl. Im März/April wurde der Einsatz von CBN für den IFW Versuchstand gänzlich verworfen und die Arbeiten konzentrierten sich auf den Einsatz von Diamant in mittel grober 40/45 mesh und sehr grober Körnung mit 16/18 bzw. 18/20 mesh.

Im Mai und Juni konnten erste 3D-gedruckte Prototypen für die 2,4 m IFW Testseile erfolgreich gedruckt und gesintert werden.

Die neuen Diamantsägeeseile für Stahl arbeiteten wesentlich besser als die mit gedruckten CBN-Schneidkörnungen und die Schnittergebnisse sind vergleichbar mit konventionell hergestellten Diamantschneidperlen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: An den neuen Tieftemperatur-Matrix-Bindungen wird weiterhin gearbeitet. Aufgrund des positiven Sägeeinsatzes ist geplant die Bindung im 3D-Druck im Jul/Aug 2024 mit 40/45 und 18/20 mesh in größeren Stückzahlen von Sägeperlen herzustellen.

Aktuell liegt die Sintertemperatur nach zahlreichen Bindungsmixturen und Sinterversuchen mit Parameteroptimierung bei 850°C. Durch die Zugabe von einem höheren Gehalt an Cu-Pulvern soll die Verarbeitbarkeit weiter verbessert werden.

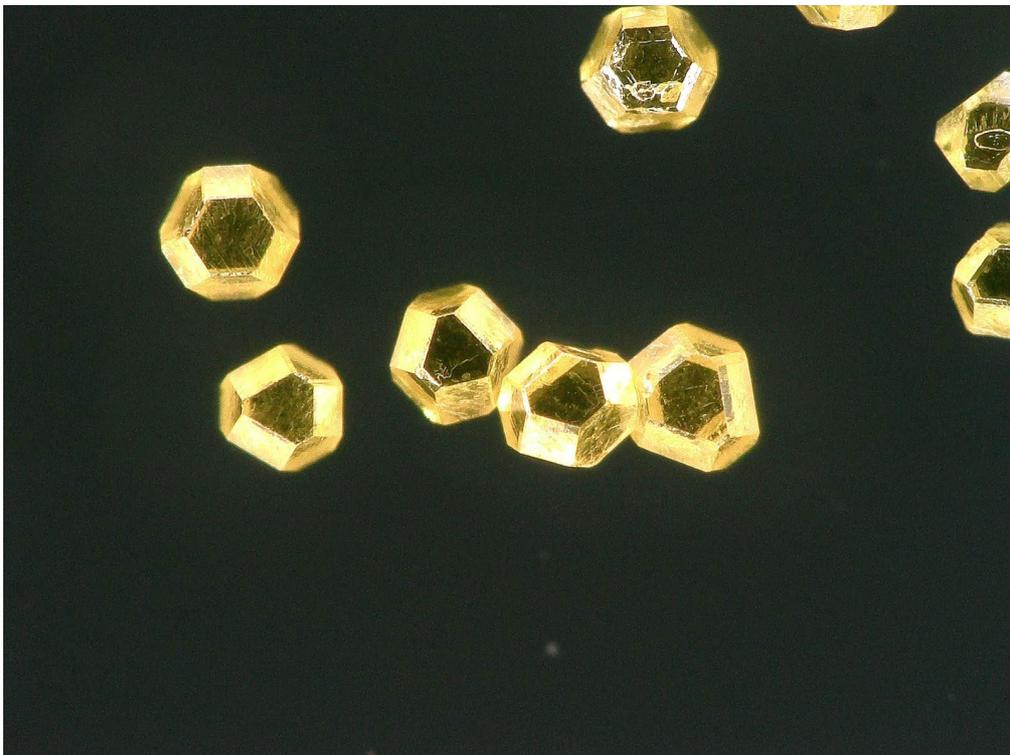
AP2: Es werden weitere Prototypen mit ausgewählten Setzmustern mit Diamant hergestellt, die Muster bei DIABÜ gesintert und daraus wieder 2,4 m lange Sägeeseile für den Versuchsstand spritzgegossen. Weitere Ritzversuche mit Diamant sind geplant.

AP3: Durch die Anpassung der Druckparameter (Höhe der Kavitäten), die Bindungszusammensetzung und die Sinterparameter konnte die Gefügedichte aktuell noch weiter erhöht werden.

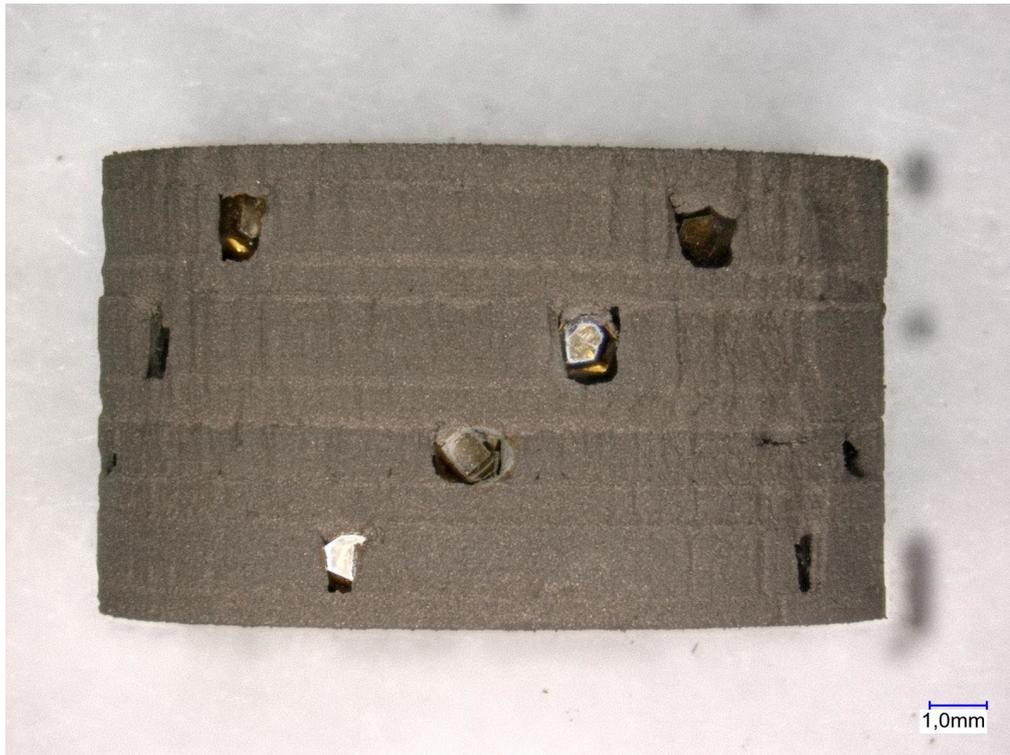
Zusätzliche Seile zum Sägen von Hartgestein und Weichgestein gehen in die Testreihe, um die verbesserte Kornhaftung zu bestätigen und die Ergebnisse auf die geplanten IFW-Seile und des Projektpartners CCD-Diamanttechnik zu übertragen.

AP4: Die Schnittversuche mit längeren Seilen sind beim IFW auf der großen Versuchsseilsäge, genau wie bei CCD in der Praxis zum Rückbau eines Wärmetauschers für das 2. Halbjahr 2024 geplant.

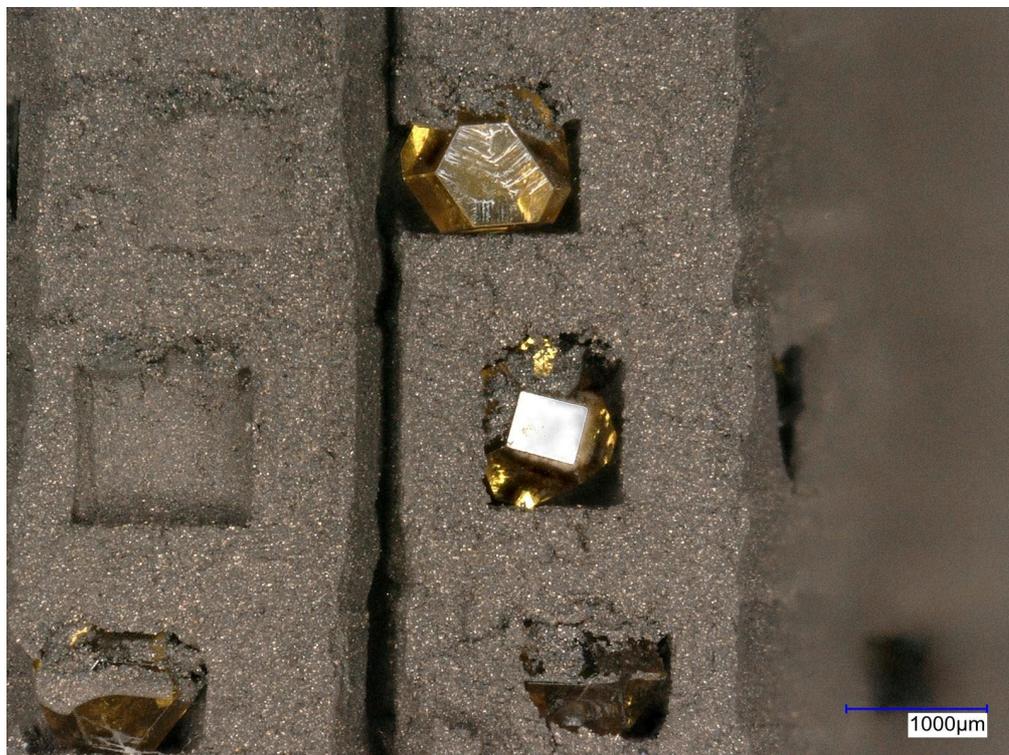
Beispielbilder DIABÜ



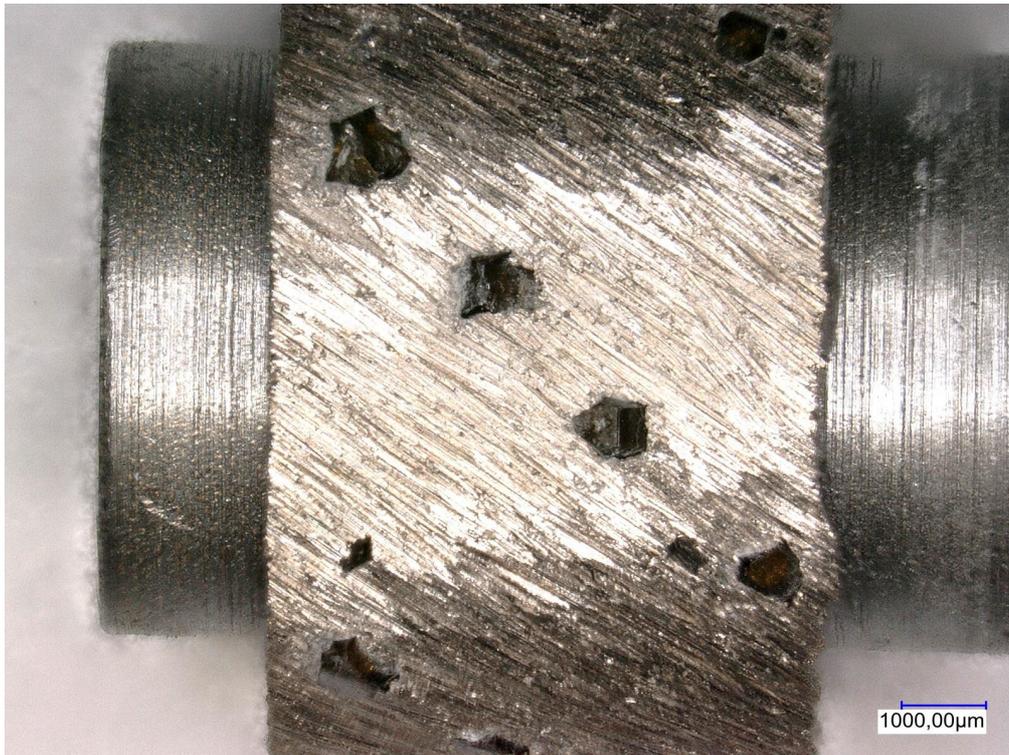
Synthetischer Diamant 40/45



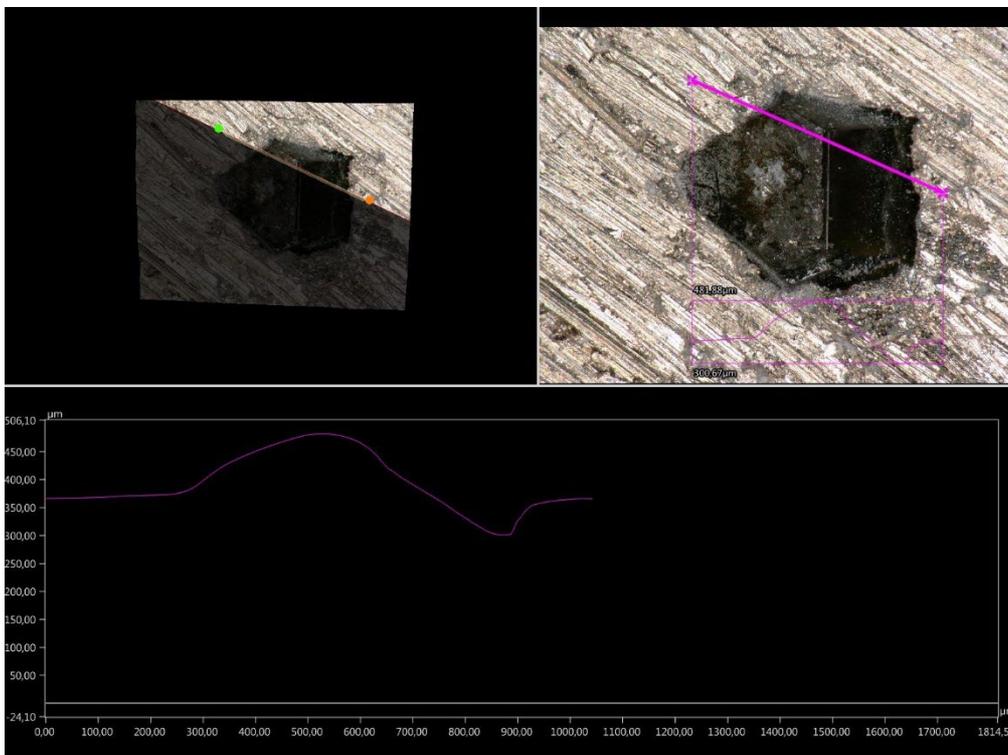
3D-gedruckte Diamantperle FC82 mit Diamant 16/18 mesh



Bruchgefüge 3D-gedruckte Diamantperle FC82 mit Diamant 16/18 mesh



Schärfversuch Diamantperle FC82 mit Diamant 16/18 mesh



Kornüberstand Schärfversuch Diamantperle FC82 mit Diamant 16/18 mesh



Prototypenseile

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9430A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Leibniz Universität Hannover – Institut für Werkstoffkunde	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogentrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen TP: CAMG-Prozess	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.08.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.182.335 €
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Thomas Hassel	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hassel@iw.uni-hannover.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

Einen weiteren Punkt in dem das Verfahren optimiert werden muss, stellt die Stromübertragung auf die rotierende Elektrode dar. Derzeit ist die Übertragung von Arbeitsströmen zwischen 850-3000 A nur durch große taktile Stromübertrager oder durch eine Stromübertragung mittels flüssigem Quecksilber möglich.

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

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

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

- Die Untersuchungen zu den Teilchenverbundwerkstoffen in den Arbeitspaketen A4 bis A6 wurden fortgeführt. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf der Suche nach einem optimalen Anteil an Partikeln im Elektrodenwerkstoff. Eine Verwendung der Verbundwerkstoffe im Rahmen des Modellversuchs aus Arbeitspaket A/4 war jedoch nicht möglich. Die hohe Porosität der wolframkarbidreichen Proben führte dazu, dass es nicht möglich war, Elektroden mit den gewünschten Längen und Querschnittsflächen herzustellen. Aufgrund der bereits beschriebenen Nachteile des Modellversuchs stellte dies jedoch kein Hindernis in der Untersuchung des Verbundwerkstoffs dar.
- Für eine intensivere Bewertung der Verschleißkriterien wurde ein mechanisch stark beanspruchbarer Eisenbasiswerkstoff mit hohem Chromgehalt getestet. Die bisherigen Daten lassen den Schluss zu, dass die mechanische Beständigkeit einen hohen Einfluss auf die Verschleißbeständigkeit besitzt.
- Die Verschleißuntersuchungen wurden bisher auf der Basis von 10 mm starken Proben durchgeführt. In Arbeitspaket A/8 können hier entsprechende ökonomische Kennwerte berechnet werden. Aufgrund der stark variierenden Geometrien bei den geplanten Rückbautätigkeiten ist es nicht praktikabel, für alle Optionen gesondert Experimente durchzuführen. In diesem Kontext könnten zukünftig Mechanismen zur Berechnung oder Extrapolation ermittelt werden, um die Kosten praxisnäher auf den jeweiligen Anwendungsfall zu bestimmen.
- Im Arbeitspaket B/6 wurden erfolgreich MockUp-Schnitte im Versuchsbecken des UWTH durchgeführt. Mit Hilfe einer eigens entwickelten Konstruktion konnten die teilweise über 100 kg schweren MockUps, die von EWN in Form von Kassettenkorbsegmenten, Rohrstücken, Kernmantelsegmenten und UKG Segmenten gefertigt wurden, sicher gehandhabt werden.
- Ein weiterer Erfolg wurde in den Arbeitspaketen B/6 bis B/8 erzielt, wo zur Erhöhung des TRL-Levels (Technology Readiness Level) Wasserstoffmessungen während des Schneidprozesses an der Wasseroberfläche durchgeführt wurden. Hierzu wurde ein Messgerät von EWN geliefert. Um in Hannover im UWTH die erforderlichen Messungen selbstständig durchführen zu können wurden die Mitarbeiter vor Ort durch eine Fachkraft von EWN eingewiesen und das Gerät in Betrieb genommen. Die Messungen zeigen, dass

sich die Menge an Wasserstoff, die an der Oberfläche in die Umgebung austritt unter den vorgeschriebenen Grenzwerten liegt und somit die standard Absaugung über dem Schneidbecken ausreichend ist, um eine Gefährdung der Mitarbeiter auszuschließen. Diese Messungen tragen entscheidend zur Verbesserung und Validierung dieser Technologie bei.

- In Arbeitspaket C/1 wurde der aktuelle Stand der Gesamtdokumentation mit den neusten Erkenntnissen überarbeitet. Die Bearbeitung der Arbeitspakete aus dem Arbeitspaket Komplex C läuft parallel zu den anderen beiden Komplexen und wird ständig fortgeführt.
- In Arbeitspaket C/2 wurde in Zusammenarbeit mit EWN ein Merkblattentwurf erarbeitet, der die Anwendung der CAMG-Technik als Rückbautechnik für den direkten Einsatz beschreibt. Dieser Entwurf integriert wichtige Randbedingungen wie Einsatzmöglichkeiten, Leistungsspektrum, periphere Anforderungen und Details zu den Schneidscheiben. Um den Technologie-Readiness-Level (TRL) der CAMG-Technik bewertbar zu machen.
- In C/3 wurden die potenziellen Anwendungsprofile der CAMG-Technik auf dem Markt untersucht, um sie als Alternativtechnik im Rückbauprozess zu etablieren, insbesondere bei einem Ausfall der aktuell verwendeten UW-Schneidtechniken. Aufbauend auf dieser Analyse wurde die Genehmigungsfähigkeit der Technik im Rahmen der Prüfung von Angebotsunterlagen zum Rückbau von kerntechnischen Anlagen diskutiert. Die Ergebnisse dieser Untersuchung wurden in Form von Kriterien und Argumenten zusammengefasst, die es den Anwendern ermöglichen, die Funktionsfähigkeit und Sicherheit der Projektentwicklungen überzeugend darzustellen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- In Arbeitspaket A/7 wird das Werkstofffranking in der verbleibenden Projektzeit finalisiert. Dabei werden insbesondere besondere Merkmale und Aspekte der Produktionstechnik berücksichtigt.
- In Zusammenarbeit mit EWN wird die zusammenfassende Betrachtung der Schneidtechnologie finalisiert. Dabei findet in Arbeitspaket A/8 eine ökonomische Bewertung der erforschten Thematik statt. Ziel ist eine industriegeeignete Bewertung der Technologie, welche durch eine enge Kooperation erfolgt. Diese ermöglicht es uns, die technologischen Fortschritte umfassend zu analysieren und die Ergebnisse in einem praktischen Kontext zu validieren. Dabei werden die Vorteile herausgearbeitet.
- Die Installation und die Inbetriebnahme der Technikumsanlage sind im Arbeitspaket B/5 vorgesehen. Hierfür wurden die in den Arbeitspaketen B/2 und B/3 hergestellten Bauteile mit den entsprechenden Kaufteilen zu Baugruppen montiert und einzeln auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft. Dieser Prozess wird abhängig vom Fortschritt der Fertigung kontinuierlich fortgesetzt und abgeschlossen.
- In Arbeitspaket C1 wird die Erstellung der Dokumentation weitergeführt und beendet.
- In Zusammenarbeit mit EWN soll im Arbeitspaket C2 das Merkblatt abschließend fertiggestellt werden um das Technology Readiness Levels (TRL) festlegen zu können.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es kann zurzeit kein Bezug zu anderen Vorhaben hergestellt werden.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Für den aktuellen Berichtszeitpunkt liegen keine Veröffentlichungen vor.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9430B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: EWN Entsorgungswerk für Nuklearanlagen GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogentrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen, TP: CAMG-Anwendung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.08.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 105.018,63 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Ing. (FH) Torsten Wollermann	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: torsten.wollermann@ewn-gmbh.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Mit dem Ausstieg aus der Kernenergie ergeben sich in Deutschland neue Herausforderungen bei der technischen Realisierung von Stilllegungs- und Rückbauprojekten.

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

Schon in der Angebotsplanung sind Unternehmen gefordert, Rückbauaufgaben sehr konkret bzw. umfassend zu planen und die Trenntechniken festzulegen, welche nach dem Stand der Technik umfassend bzgl. den Sicherheitsanforderungen als auch den Einsatzbedingungen entsprechend geprüft werden müssen. Im Forschungsprojekt wird das CAMG-Schneiden thematisiert, um es für den praktischen Einsatz vorzubereiten. Zielsetzung des Projektes ist es, sowohl das CAMG-Verfahren als auch die Schneidwerkstoffe einsatzbereit zu entwickeln und in das Portfolio der thermischen Schneidverfahren für den Rückbau kerntechnischer Anlagen einzureihen. Das Gesamtziel des Projektes lässt sich durch zwei wesentliche Teilziele erreichen. Zum einen ist die Maschinenteknologie des CAMG-Schneidverfahrens aus dem labortechnischen Bereich in den anwendungstechnischen Bereich zu übertragen.

Durch die Klassifizierung möglicher Trennverfahren für metallische Werkstoffe in TRL (Technology Readiness Level) von 1-9 kann eine qualifizierte, situationsbedingte Auswahl der Verfahren getroffen werden, wodurch die Sicherheit des Rückbauprozesses erhöht wird. Einen besonderen Vorteil stellen dabei die thermischen Trennverfahren, auf Grund des vereinfachten Manipulationsaufwandes durch das rückstellkraftfreie Arbeiten, dar.

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

Einen weiteren Punkt in dem das Verfahren optimiert werden muss, stellt die Stromübertragung auf die rotierende Elektrode dar. Derzeit ist die Übertragung von Arbeitsströmen zwischen 850-3000 A nur durch große taktile Stromüberträger oder durch eine Stromübertragung mit flüssigem Quecksilber möglich.

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

Die Durchführung des Projektes gliedert sich in drei Komplexe. In Komplex A wird der Scheibenelektrodenverschleiß bewertet indem zunächst gut verfügbare und günstige Werkstoffe für den Prozess als Elektrode genutzt werden. Für die unterschiedlichen Elektrodenwerkstoffe werden die Schneidaten durch mechanisierte Schneidversuche ermittelt. Die Verschleißergebnisse werden in Bezug zur Schneidleistung diskutiert und hinsichtlich der Gesamtprozessleistung interpretiert. Basierend auf den so gewonnenen Erkenntnissen werden Elektroden additiv gefertigt. Mittels eines draht-/pulverbasierten koaxialen Laserschweißprozesses werden Hartauftragungen in Umfangsrichtung auf einen Grundkörper aufgeschweißt. Durchgeführt wird dieser Fertigungsprozess an einem Roboterschweißplatz, wozu im Rahmen des Projektes eine Anlage installiert wird. Somit ist ein Werkstoffscreening hinsichtlich der Schneidwerkstoffe sowie ein quantitativer Überblick über das Potential der verfügbaren Schneidwerkstoffe möglich.

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

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

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

Für die Weiterführung der Untersuchungsgrundsätze laut A/7 bis A/8 wurden weitere geeignete Verbundwerkstoffe bewertet, um den wirtschaftlichen Aspekt im Rahmen des konstruktiven Aufbaus einschl. der erforderlichen Anwendungsgebiete zu gewährleisten. In Zusammenarbeit mit der UWTH wurden vorliegende Untersuchungsergebnisse zu den Teilchen-, Faser- und Schichtverbundwerkstoffen betrachtet (gemäß den Arbeitspaketen A/4 sowie A/7).

Auf Grundlage der bereits vorliegenden Ergebnisse wurden detaillierte Verschleißuntersuchungen auf Basis stärkerer Materialproben durchgeführt. Die daraus abgeleiteten ökonomischen Kennwerte werden im Arbeitspaket A/8 implementiert. Für den Anwendungsfall der zu realisierenden Schneidgeometrien von Einzelkomponenten der RDB-

Einbauten können zukünftig Mechanismen zur Berechnung bzw. Hochrechnung angesetzt werden, um praxisnahe Kostenbewertungen zu bestimmen.

Zur nachhaltigen Ergebnisoptimierung wurden weitere Erprobungen und Machbarkeitsprüfungen an den modellierten Komponentenstrukturen (gefertigte Konstruktionsdetails als MockUp) in Zusammenarbeit zwischen der UWTH und EWN gemäß dem Arbeitspaket B/6 fortgeführt und zur weiteren Bewertung analysiert.

Dazu gehören u. a. die im Arbeitspaket B/7 erfolgten Schneiduntersuchungen der in Komplex A hergestellten Elektroden. Die daraus abgeleiteten Untersuchungsergebnisse bzgl. Qualität sowie Leistungsfähigkeit der additiv hergestellten Schneidwerkstoffe wurden gemäß den Einsatzbedingungen implementiert.

Hierzu zählt beispielsweise das gezielte Beimischen von Wolframcarbid in den Elektrodenwerkstoffen. Dadurch konnte die Schneidleistung deutlich gesteigert und die Standzeit bzw. Schnittlänge mehr als verdoppelt werden (vorhergehende Untersuchungen konnten bestätigt werden).

In Bezug auf die Ausführungen des UWTH wurde ein weiterer Erfolg in den Arbeitspaketen B/6 bis B/8 erzielt, wo zur Erhöhung des TRL-Levels (Technology Readiness Level) Wasserstoffmessungen während des Schneidprozesses an der Wasseroberfläche durchgeführt wurden. Hierzu wurde ein Messgerät von EWN geliefert. Um in Hannover im UWTH die erforderlichen Messungen selbstständig durchführen zu können wurden die Mitarbeiter vor Ort durch eine Fachkraft von EWN eingewiesen und das Gerät in Betrieb genommen. Die Messungen zeigen, dass sich die Menge an Wasserstoff, die an der Oberfläche in die Umgebung austritt unter den vorgeschriebenen Grenzwerten liegt und somit die Standardabsaugung über dem Schneidbecken ausreichend ist, um eine Gefährdung der Mitarbeiter auszuschließen. Diese Messungen tragen entscheidend zur Verbesserung und Validierung dieser Technologie bei.

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

Im Projektteam UWTH/EWN wurden weitere Eckpunkte für ein Merkblattentwurf im Rahmen des Arbeitspakets C/2 erstellt, welche den direkten Einsatz der CAMG-Technik als Rückbautechnik für Interventionen oder sogar für den direkten Einsatz beschreibt. Dabei wird auf wichtige Randbedingungen wie Einsatzmöglichkeiten, Leistungsspektrum, periphere Anforderungen oder Schnittgeometrie eingegangen, um entsprechendes Wissen auch außerhalb des Projektes nutzen zu können.

In Arbeitspaket C/3 werden die aktuellen Randbedingungen zur Dosisleistungsbetrachtung der durchzuführenden Tätigkeiten sowie der Gesamtdokumentation mit den gewonnenen Erkenntnissen der Gerätekonfiguration verglichen, entsprechend bewertet und zur weiteren Verwendung charakterisiert. Die Bearbeitung des Arbeitspaketes C/3 wird fortlaufend zu den Paralleltätigkeiten der Arbeitspakete A/B ausgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Im Arbeitspaket A8 werden alle bisher gesammelten Daten vor dem Hintergrund einer ökonomischen Betrachtungsweise analysiert. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse soll dabei den Produktionszyklus der Scheiben möglichst umfassend darstellen. Ziel ist eine industriegeeignete Bewertung der Technologie, welche durch eine enge Kooperation zwischen der EWN/UWTH erfolgt. In Bezug zum Komplex B können Anwender wichtige Kennzahlen wie die Kosten pro Schnittmeter ableiten.
- Für den spezifizierten Aufbau der Technikumsanlage (Arbeitspaket B/5) werden die gefertigten Bauteile gemäß den Arbeitspaketen B/2 und B/3 mit den Kauf- und

Normteilen einschl. Baugruppen modifiziert und einzeln auf ihre Funktionsweise geprüft. Dies wird je nach Fertigungsstand fortlaufend weitergeführt.

- Das abschließende Ziel von Arbeitspaket C1 ist die Zusammenführung der Ergebnisse aus A/8 und B/8. Dazu wird die bisher erstellte Dokumentation fortgeschrieben, wobei die gegenseitigen Einflüsse von der Technikumsanlage auf die Schneidscheibe und umgekehrt weiterhin betrachtet werden. Die Funktionen der Technologie werden mit starkem Bezug zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung analysiert.
- In Zusammenarbeit wird im Arbeitspaket C2 das Merkblatt erweitert werden, um eine abschließende Version zu entwickeln. Dazu gehört insbesondere die Abschätzung des TRL, welcher ein zentraler Punkt in diesem Projekt darstellt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Es kann zurzeit kein Bezug zu anderen Vorhaben hergestellt werden.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Für den aktuellen Berichtszeitpunkt liegen keine Veröffentlichungen vor.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9434A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden, 01062 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA) TP: Entwicklung von Werkzeugen zur In-Situ-Analyse von Betoneigenschaften, Radionukliden 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 Bohrkernkerne für eine Analytik zur Verfügung stehen, müssen neue Mess- und Analysetechniken entwickelt werden. Im Verbundvorhaben werden Mess- und Analyseverfahren entwickelt, mit denen es möglich ist, in-situ das Vorhandensein von Kontaminationen, deren Lage im Beton, deren Nuklidvektor, lokale Feuchte und Porosität der Betonmatrix sowie die Präsenz von Borverbindungen zu ermitteln. Für die hydraulische Permeabilität zwischen den Bohrungen werden Modellierungswerkzeuge entwickelt und angewendet. Weiterhin wird ein Konzept zur elektronischen Dokumentation von Daten aus Rückbauprojekten erarbeitet, welches für zukünftige Rückbauprojekte nutzbar ist.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

AP 1: Im vorangegangenen Projektzeitraum wurden die experimentellen Arbeiten im Labor unter Einsatz der elektrischen Impedanzspektroskopie (EIS) mit dem Ziel fortgesetzt, den Feuchtegehalt in den engen Bohrlöchern im Beton zu bestimmen. Darüber hinaus wurde die vergleichende Analyse verschiedener Betonproben, u.a. an den direkt aus dem Kernkraftwerk Unterweser (KKU) stammenden Proben sowie an Phantomen vom Projektpartner TUD-IfB, fortgesetzt. Die Proben von TUD-IfB wiesen identische Stoffwerte und Morphologien (Zement, Sand, Korngrößen und Gesteinskörnungen) auf wie der Beton aus dem KKU (Replikate). Neben den Versuchen mit einem kapazitiven Parallelplattensensor zur Feuchtemessung wurde ein Sensor auf Basis zweier Federelektroden eingesetzt, der ähnlich wie die endgültige Elektrodenanordnung für das Lanzendesign mittels zweier planarer Elektroden nicht in Transmission in den semi-infiniten Halbraum misst. Die Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen, und es sind weitere Analysen erforderlich. Für das Lanzendesign wurde ein neuer Ansatz entwickelt, da die bisherige Technologie der Gummi-Balgexpansion einer flexiblen Leiterplatte keine gute Reproduzierbarkeit ergab. Dies ist auf die glatte Struktur der Leiterplatte und die raue Bohrlochinnenwand zurückzuführen. Beim neuen Design werden mehrere Federn als Elektroden verwendet. Diese werden kreisförmig auf dem Umfang der Lanze in radialen Einstichen so angeordnet, dass sie mittels einer mechanischen Spreizvorrichtung gegen die Lochinnenwand gedrückt werden können. Bei der Messung des Feuchtegehalts im Beton werden die Feder-Elektroden, auch unter großen Toleranzen der Bohrung, sicher an die raue Betonoberfläche gedrückt. Der Arbeitsabstand der Elektroden zueinander bleibt dabei stets konstant. Da nur jeweils die der Bohrungswand zugewandten Teile der Windungen die Wand berühren, ändert sich auch die Kontaktfläche nicht, selbst wenn der Lochdurchmesser stark variiert. Das CAD-Design wurde fertiggestellt, die Einzelteile gehen demnächst in die Fertigung (3D-Druck). Darüber hinaus wurde eine Hochfrequenzsimulation mit COMSOL®-Multiphysics durchgeführt, um die Anwendbarkeit der Radartechnologie unter Verwendung eines Koaxialkabels, das als

Antennenanordnung dienen wird, für die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts in Betonbohrlöchern zu bewerten.

Die Auswertung der vom TUD-IKTP erhobenen Messwerte in der Kalotte wurde fortgesetzt. Es wurde ein Modell erstellt, wie bei Bekanntheit des vorliegenden Nuklids die Flächenaktivität einer lokalisierten Kontamination abgeschätzt werden kann. Daraus kann die für die Freigabe erforderliche spezifische Aktivität des Betons bestimmt werden. Mit diesem Ansatz wurde ein Bohrloch in der Kalotte untersucht, bei dem eine lokalisierte ^{60}Co -Aktivität am Boden festgestellt wurde. Unter verschiedenen Annahmen der Ausbreitungstiefe der Kontamination kann die spezifische Aktivität abgeschätzt werden. Diese durch die Fasersonde bestimmte Aktivität liegt etwa im Bereich der Aktivität, die von PreussenElektra durch gammaspektroskopische Auswertungen des zugehörigen Bohrkerns gemessen wurde. Die Fasersonde wurde auf der 99. Sitzung des Arbeitskreis Dosimetrie am Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) in Brugg (CH) vorgestellt.

AP 2: Im Berichtszeitraum wurde ein erster Prototyp des Sondenkopfs konzipiert, angefertigt und in den bestehenden Versuchsaufbau integriert. Mit dem Prototypen wurden Untersuchungen zur Beständigkeit des Materials und des Parabolspiegels im Betriebszustand durchgeführt. Es wurden zudem Studien zur Bestimmung des Einflusses von Zuschlagstoffen auf das Ablationsverhalten von Beton bei intensiver Laserstrahlung und zur Optimierung des gezielten Abtragens von Mikropartikeln aus der Matrix durchgeführt. Von VKTA durchgeführte gammaspektroskopische Messungen an mit Probenmaterial beladenen Filtern haben gezeigt, dass die Menge an ablatierten Partikeln, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt auf Filter abgeschieden werden kann, zu gering für aussagekräftige Ergebnisse ist. In Python wurde eine Pulsformdatenbank für den Faserlaser erstellt, mit deren Hilfe die zeit- und frequenzabhängige Einzelpulsleistung bei verschiedenen Pulsformen und Durchschnittsleistungen berechnet werden kann. Zur Nutzbarmachung von laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) wird derzeit an der Eingliederung des Lasers und zweier Spektrometer (UV/VIS und NIR) an eine Triggerpipeline gearbeitet.

AP 3: Betonzylinderproben mit Fugen wurden und werden weiterhin Sorptions-, Diffusions- und Permeabilitätstests unterzogen (TUD-IfB). Für die Sorption wurden die Zylinder Wasser, Hexan und einer wässrigen Lösung von Caesium- beziehungsweise Strontiumchlorid ausgesetzt. Der Sorptionsprozess ist abgeschlossen. Aus den Proben werden derzeit tiefenaufgelöst Pulverproben entnommen, um die Konzentrationen von Cs- und Sr-Ionen und somit deren Eindringtiefen zu bestimmen. Diffusionstests sind im Gange, die am 29.02.2024 begonnen wurden und die bis Ende Juli 2024 abgeschlossen sein werden, so dass sich eine Diffusionszeit von etwa fünf Monaten ergibt. Anschließend werden auch diese Zylinder beprobt wie die Sorptionsproben, um tiefenaufgelöst die Ionenkonzentrationen zu bestimmen und Diffusionsprofile für Cs- und Sr-Ionen zu erstellen. Ähnlich werden erste Gaspermeabilitätstests durchgeführt, um potenzielle Leckagen im neu errichteten Aufbau zu untersuchen. Nach Abschluss dieser Vorversuche werden die Betonprobekörper (mit Fugen) den eigentlichen Gaspermeabilitätstests unterzogen, deren Ergebnisse in den finalen Projektphasen mit der Flüssigkeitspermeabilität verknüpft werden. PreussenElektra hat Bohrkernproben aus der Kalotte eines weiteren Kernkraftwerks bereitgestellt.

AP 4: Im Projektzeitraum wurden die Lokalisationsdaten der Probeentnahmestellen in das CAD-Modell des Visualisierungstools eingetragen. Diese Daten sind in der grafischen Nutzeroberfläche anwählbar und zeigen die wichtigen Informationen zur jeweiligen Probe an. Sie wurden von der Doktorandin des assoziierten Partners Dornier Nuclear Services GmbH (ehemals VPC Nukleare

Dienstleistungen GmbH) gesammelt und entsprechend aufbereitet. Dafür musste das bisher entwickelte Konversionsskript ergänzt werden, was eine Erweiterung des Datenbankschemas erforderte.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1: Um Feuchtigkeit in einer realen Betonprobe zu erkennen, werden experimentelle Arbeiten mit EIS-Techniken durchgeführt, um die mit COMSOL®-Multiphysics generierten Simulationsergebnisse zu analysieren und zu validieren. Der nachfolgende Ansatz umfasst die Anwendung von Radartechniken, die in zwei Kategorien eingeteilt werden: solche, die eine Antennengruppe verwenden, und solche, die einen Resonator einsetzen. Das Ziel dieser Techniken ist es, die Feuchtigkeit im Beton zu identifizieren. Der erste Entwurf des dreidimensionalen Modells der Radartechnik mit einer einfachen Antennengruppe (Koaxialkabel) wurde mit dem Simulationswerkzeug COMSOL®-Multiphysics in Zusammenarbeit mit dem Forschungspartner am KIT (Karlsruher Institut für Technologie) erstellt. Die Ergebnisse der Simulation mit dem Antennen-Array werden experimentell umgesetzt, um einen Einblick in das reale Szenario zu erhalten. Nach Abschluss der Simulation und der Messung mit dem "Resonator" wird ein Vergleich zwischen den Radartechniken in einem höheren Frequenzbereich (GHz) durchgeführt, um die optimale Technik für den Feuchtigkeitsnachweis in Beton zu ermitteln. Parallel dazu soll die EIS-Sonde komplett aufgebaut und an Bohrlochphantomen im Labor validiert werden.

Bei TUD-IKTP wird die Auswertung der Messungen in Bohrlöchern der Kalotte fortgesetzt, um auch eine mögliche Abschätzung über eine zusätzliche ^{137}Cs -Aktivität durchführen zu können. Diese kann mit den Auswertungen des zugehörigen Bohrkerns aus der Kalotte verglichen werden. Die Bestimmungsmethode der spezifischen Aktivität soll weiter verfeinert werden.

AP 2: Es soll getestet werden, ob die Gesamtmenge an abgeschiedenem Material, mit der zusätzlichen Einbindung eines Zyklonabscheiders ins Absaugsystem, erhöht werden kann. Ebenso sind Arbeiten zur Einbettung der Pulsformdatenbank in COMSOL® Multiphysics, sowie die Simulation von pulsformabhängigen Erwärmungsprozessen geplant. Mittels LIBS soll untersucht werden, ob Borverbindungen zuverlässig im Beton nachgewiesen werden können.

AP 3: Im nächsten Schritt wird das derzeit noch laufende Versuchsprogramm abgeschlossen und die Ergebnisse werden für Publikationen (und die Dissertation des wissenschaftlichen TUD-IfB Projektmitarbeiters) aufbereitet. Über eigenständige Publikationen der reinen Analyseergebnisse soll zu einem gegebenen Zeitpunkt erst noch entschieden werden. Anschließend beziehungsweise bereits überlappend beginnt der Modellierungsprozess, um das Eindringen von Cs- und Sr-Ionen in den Beton durch die drei Hauptmechanismen Sorption, Diffusion und Permeabilität zu simulieren. Die Modelle werden mit den experimentellen Ergebnissen korreliert. In der Endphase des Projekts soll das Modell verwendet werden, um Kontaminationstiefen in realen Strukturen des Kernkraftwerks Unterweser abzuschätzen. Die Bohrkernprobe des zweiten Kernkraftwerks soll ebenfalls untersucht werden.

AP 4: Die Visualisierungsanwendung soll um erweiterte Exportfunktionalitäten ergänzt werden. Dafür müssen verschiedene Exportoptionen hinzugefügt werden, darunter PDF-Berichte sowie maschinenlesbare Datenbankrohexporte. Die Visualisierungsanwendung wird in der Lage sein, Daten nach verschiedenen Kriterien zu filtern und zu sortieren. Diese gefilterten Daten können

dann in die gewünschten Zielformate exportiert werden, sei es als PDF-Bericht, CSV-Datei oder JSON-Datei.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Döhler, D. et al., Spürsonde zur Detektion von Kontamination und Aktivierung in Bohrlöchern, 99. Sitzung des Arbeitskreis Dosimetrie, 21.03.2024.

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, eingereicht am 20. April 2024, derzeit zweite Begutachtungsrunde nach Modifizierung anhand der Gutachterkommentare zur Ersteinreichung.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9434B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., D-01328 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA) 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 Probenahmesystem zur In-situ-Analyse radioaktiver Kontamination im Beton und nuklidspezifischer Aktivitäten

- AP 2.1 Vergleich verschiedener Abtragsverfahren – Zuarbeit WKET (09/2021-02/2022)
- AP 2.4 Analyse des Betonabtrages als Funktion der Abtragstiefe im Bohrloch (05/2023-04/2024)
- AP 2.5 Vergleichsmessungen an realen Strukturen (03/2024-08/2024)

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

Für WKET erfolgten weitere Messungen an abgetragenen Probenmaterial zur Bestimmung der natürlichen Radionuklide im Beton mit dem Hintergrund zur weiteren Absenkung der Nachweisgrenzen.

Weiterhin wurde für die Arbeitsgruppe vom IKTP unterschiedliche Prüfquellen für die Kalibrierung eines neu entwickelten Messgerätes bereitgestellt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

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: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9434C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: PreussenElektra GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung von Messtechnik zur Beprobung kontaminierter Betonbaukörper kerntechnischer Anlagen während des Rückbaus (KOBKA) TP: Elektronische Ergebnisdokumentation, Beprobungsplanung und Wissensmanagement	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2021 bis 31.05.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 225.142,97 €
Projektleiter/-in: Wolfgang Bertram	E-Mail-Adresse des Projektleiters: wolfgang.bertram@preussenelektra.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

AP 1: Entwicklung einer rohrgängigen Sonde zur tiefenaufgelösten Bestimmung von Dosisleistung, Feuchte 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 die experimentellen Arbeiten im Labor unter Einsatz der elektrischen Impedanzspektroskopie (EIS) mit dem Ziel fortgesetzt, den Feuchtegehalt in den engen Bohrlöchern im Beton zu bestimmen. Darüber hinaus wurde die vergleichende Analyse verschiedener Betonproben, u.a. an den direkt aus dem Kernkraftwerk Unterweser (KKU) stammenden Proben sowie an Phantomen vom Projektpartner TUD-IfB, fortgesetzt. Die Proben von TUD-IfB wiesen identische Stoffwerte und Morphologien (Zement, Sand, Korngrößen und Gesteinskörnungen) auf wie der Beton aus dem KKU (Replikate). Neben den Versuchen mit einem kapazitiven Parallelplattensensor zur Feuchtemessung wurde ein Sensor auf Basis zweier Federelektroden eingesetzt, der ähnlich wie die endgültige Elektrodenanordnung für das Lanzendesign mittels zweier planarer Elektroden nicht in Transmission in den semi-infiniten Halbraum misst. Die Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen, und es sind weitere Analysen erforderlich. Für das Lanzendesign wurde ein neuer Ansatz entwickelt, da die bisherige Technologie der Gummi-Balgexpansion einer flexiblen Leiterplatte keine gute Reproduzierbarkeit ergab. Dies ist auf die glatte Struktur der Leiterplatte und die raue Bohrlochinnenwand zurückzuführen. Beim neuen Design werden mehrere Federn als Elektroden verwendet. Diese werden kreisförmig auf dem Umfang der Lanze in radialen Einstichen so angeordnet, dass sie mittels einer mechanischen Spreizvorrichtung gegen die Lochinnenwand gedrückt werden können. Bei der Messung des Feuchtegehalts im Beton werden die Feder-Elektroden, auch unter großen Toleranzen der Bohrung, sicher an die raue Betonoberfläche gedrückt. Der Arbeitsabstand der Elektroden zueinander bleibt dabei stets konstant. Da nur jeweils die der Bohrungswand zugewandten Teile der Windungen die Wand berühren, ändert

sich auch die Kontaktfläche nicht, selbst wenn der Lochdurchmesser stark variiert. Das CAD-Design wurde fertiggestellt, die Einzelteile gehen demnächst in die Fertigung (3D-Druck). Darüber hinaus wurde eine Hochfrequenzsimulation mit COMSOL®-Multiphysics durchgeführt, um die Anwendbarkeit der Radartechnologie unter Verwendung eines Koaxialkabels, das als Antennenanordnung dienen wird, für die Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts in Betonbohrlöchern zu bewerten.

AP 3: Betonzylinderproben mit Fugen wurden und werden weiterhin Sorptions-, Diffusions- und Permeabilitätstests unterzogen (TUD-IfB). Für die Sorption wurden die Zylinder Wasser, Hexan und einer wässrigen Lösung von Caesium- beziehungsweise Strontiumchlorid ausgesetzt. Der Sorptionsprozess ist abgeschlossen. Aus den Proben werden derzeit tiefenaufgelöst Pulverproben entnommen, um die Konzentrationen von Cs- und Sr-Ionen und somit deren Eindringtiefen zu bestimmen. Diffusionstests sind im Gange, die am 29.02.2024 begonnen wurden und die bis Ende Juli 2024 abgeschlossen sein werden, so dass sich eine Diffusionszeit von etwa fünf Monaten ergibt. Anschließend werden auch diese Zylinder beprobt wie die Sorptionsproben, um tiefenaufgelöst die Ionenkonzentrationen zu bestimmen und Diffusionsprofile für Cs- und Sr-Ionen zu erstellen. Ähnlich werden erste Gaspermeabilitätstests durchgeführt, um potenzielle Leckagen im neu errichteten Aufbau zu untersuchen. Nach Abschluss dieser Vorversuche werden die Betonprobekörper (mit Fugen) den eigentlichen Gaspermeabilitätstests unterzogen, deren Ergebnisse in den finalen Projektphasen mit der Flüssigkeitspermeabilität verknüpft werden. PreussenElektra hat Bohrkernproben aus der Kalotte eines weiteren Kernkraftwerks bereitgestellt.

AP 4: Im Projektzeitraum wurden die Lokalisationsdaten der Probeentnahmestellen in das CAD-Modell des Visualisierungstools eingetragen. Diese Daten sind in der grafischen Benutzeroberfläche anwählbar und zeigen die wichtigen Informationen zur jeweiligen Probe an. Sie wurden von der Doktorandin des assoziierten Partners Dornier Nuclear Services GmbH (ehemals VPC Nukleare Dienstleistungen GmbH) gesammelt und entsprechend aufbereitet. Dafür musste das bisher entwickelte Konversionsskript ergänzt werden, was eine Erweiterung des Datenbankschemas erforderte.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 1: Um Feuchtigkeit in einer realen Betonprobe zu erkennen, werden experimentelle Arbeiten mit EIS-Techniken durchgeführt, um die mit COMSOL®-Multiphysics generierten Simulationsergebnisse zu analysieren und zu validieren. Der nachfolgende Ansatz umfasst die Anwendung von Radartechniken, die in zwei Kategorien eingeteilt werden: solche, die eine Antennengruppe verwenden, und solche, die einen Resonator einsetzen. Das Ziel dieser Techniken ist es, die Feuchtigkeit im Beton zu identifizieren. Der erste Entwurf des dreidimensionalen Modells der Radartechnik mit einer einfachen Antennengruppe (Koaxialkabel) wurde mit dem Simulationswerkzeug COMSOL®-Multiphysics in Zusammenarbeit mit dem Forschungspartner am KIT (Karlsruher Institut für Technologie) erstellt. Die Ergebnisse der Simulation mit dem Antennen-Array werden experimentell umgesetzt, um einen Einblick in das reale Szenario zu erhalten. Nach Abschluss der Simulation und der Messung mit dem "Resonator" wird ein Vergleich zwischen den Radartechniken in einem höheren Frequenzbereich (GHz) durchgeführt, um die optimale Technik für den Feuchtigkeitsnachweis in Beton zu ermitteln. Parallel dazu soll die EIS-Sonde komplett aufgebaut und an Bohrlochphantomen im Labor validiert werden.

Bei TUD-IKTP wird die Auswertung der Messungen in Bohrlöchern der Kalotte fortgesetzt, um auch eine mögliche Abschätzung über eine zusätzliche ^{137}Cs -Aktivität durchführen zu können. Diese kann mit den von PreussenElektra durchgeführten und durchzuführenden gammaspektroskopischen Auswertungen des zugehörigen Bohrkerns aus der Kalotte verglichen werden. Die Bestimmungsmethode der spezifischen Aktivität soll weiter verfeinert werden.

AP 3: Im nächsten Schritt wird das derzeit noch laufende Versuchsprogramm abgeschlossen und die Ergebnisse werden für Publikationen (und die Dissertation des wissenschaftlichen TUD-IfB Projektmitarbeiters) aufbereitet. Über eigenständige Publikationen der reinen Analyseergebnisse soll zu einem gegebenen Zeitpunkt erst noch entschieden werden. Anschließend beziehungsweise bereits überlappend beginnt der Modellierungsprozess, um das Eindringen von Cs- und Sr-Ionen in den Beton durch die drei Hauptmechanismen Sorption, Diffusion und Permeabilität zu simulieren. Die Modelle werden mit den experimentellen Ergebnissen korreliert. In der Endphase des Projekts soll das Modell verwendet werden, um Kontaminationstiefen in realen Strukturen des Kernkraftwerks Unterweser abzuschätzen. Die Bohrkernprobe des zweiten Kernkraftwerks soll ebenfalls untersucht werden.

AP 4: Die Visualisierungsanwendung soll um erweiterte Exportfunktionalitäten ergänzt werden. Dafür müssen verschiedene Exportoptionen hinzugefügt werden, darunter PDF-Berichte sowie maschinenlesbare Datenbankrohexporte. Die Visualisierungsanwendung wird in der Lage sein, Daten nach verschiedenen Kriterien zu filtern und zu sortieren. Diese gefilterten Daten können dann in die gewünschten Zielformate exportiert werden, sei es als PDF-Bericht, CSV-Datei oder JSON-Datei.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Derzeit keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Hampel, U.; Nurjahan, T.; Schunk, C.; Anthofer, A.; Bertram, W.; Kosowski, K.; Döhler, D. D.; Kormoll, T.; Werner, T.; Kahle, P.; Gath, J.-O.; Herrmann, M.; Jansen, S.; Lösch, H.; Mechtchrine, V.; Schröfl, C.; Rauf, A.; Schleicher, E., Forschung für den Rückbau von Kernkraftwerken: Das Projekt KOBKA, FORKA Statusseminar, 10.04.2024, Berlin.

Hampel, U.; Nurjahan, T.; Schunk, C.; Anthofer, A.; Bertram, W.; Kosowski, K.; Döhler, D.; Kormoll, T.; Werner, T.; Kahle, P.; Gath, J.-O.; Herrmann, M.; Jansen, S.; Lösch, H.; Mechtcherine, V.; Schröfl, C.; Rauf, A.; Schleicher, E.; Measurement techniques for the analysis of contaminated concrete structures in the containment of pressurized water reactors during plant decommissioning, KERntechnik 2024, Leipzig, 11.-13. Juni 2024.

Nurjahan, T.; de Assis Dias, F.; Schleicher, E.; Hampel, U.; In-situ moisture measuring in concrete structures of nuclear reactor buildings during decommissioning, KERntechnik 2024, Leipzig, 11.-13. Juni 2024.

Döhler, D. et al., Spürsonde zur Detektion von Kontamination und Aktivierung in Bohrlöchern, 99. Sitzung des Arbeitskreis Dosimetrie, 21.03.2024.

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, eingereicht am 20. April 2024, derzeit zweite Begutachtungsrunde nach Modifizierung anhand der Gutachterkommentare zur Ersteinreichung.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 30.06.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 448.297,58 € (inkl. Projektpauschale)
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing Sascha Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

AP2 (Datenaufnahme): Datenaufnahme von Störstellen und Gebäudestruktur

AP3 (Punktwolkengenerierung): Entwicklung eines digitalen Gebäude-Modells

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

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

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

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

AP8 (Evaluationsphase): Auswertung der Ergebnisse am Beispielprojekt

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

Die bisher durchgeführten Arbeiten verliefen in enger Kooperation mit **RWE**. In dem angegebenen Berichtszeitraum fanden regelmäßige Online-Projekttreffen sowie im März Versuche in Mülheim-Kärlich statt im Rahmen von **AP2**. Die endgültige Auswahl der Messtechnik ist inzwischen erfolgt. Der Gerätekauf steht noch aus, damit **AP2** abgeschlossen werden kann. **AP3** wurde fertiggestellt, so dass aktuell an den **AP4** und **AP5** gearbeitet wird.

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. Im Dezember 2023 wurden Testmessungen zur aktiven Thermographie mit verschiedenen leistungsstarken Erwärmungsgeräten und unterschiedlichen Wärmebildkameras durch die **BAM** in Mülheim-Kärlich durchgeführt. Es zeigte sich bereits während der Messungen, dass die aktive Thermographie auf jeden Fall mit den entsprechenden Geräten zur berührungslosen Detektion der beschichteten Ankerplatten geeignet ist. Sie kristallisierte sich somit als nach aktuellem Stand beste Methode heraus. Die 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.

Nach Sichtung der endgültigen Ergebnisse im Februar wurde ein erneuter Termin mit der **BAM** zur Erläuterung und Diskussion durchgeführt und Geräteempfehlungen der **BAM** eingeholt. Auf Grundlage dieser Empfehlungen und eigener Recherchen wurde die Auswahl durch **KIT** und **RWE** auf drei in Frage kommende Thermographiekameras und einige wenige geeignete Erwärmungsgeräte eingegrenzt. Die Einholung von Angeboten und der Kauf stehen noch aus.

AP3: Punktwolkengenerierung

3.2 Erstellung Gebäudemodell

Das Gebäudemodell wurde in der BIM-Software Revit fertig gestellt. Dies entspricht dem 1. Meilenstein des Projekts.

AP4: Software-Entwicklung

3.3 Kombination von Wärmebildern und Punktwolke

Die in **AP2** aufgenommenen Wärmebilder mit den verdeckten Ankerplatten sollen an richtiger Position in die Punktwolke eingefügt werden. Im Rahmen von **AP4** wurde eine umfangreiche Literaturrecherche zur Kombination von Wärmebildern und Punktwolken durchgeführt. Es zeigte sich, dass dieser Vorgang bisher oft manuell durchgeführt wird und bisher nur wenige Ansätze zur vollständig automatisierten Zuordnung existieren. Ein teilautomatisierter Ansatz wurde schon beispielhaft umgesetzt und soll im weiteren Verlauf weiter automatisiert werden.

3.4 Störstellenextraktion

Eine Literaturrecherche und erste Untersuchungen zur Extraktion der verdeckten Ankerplatten aus den Wärmebildern wurden durchgeführt.

Zur Extraktion der sichtbaren Störstellen aus der Punktwolke wurden bereits im letzten Jahr erste Untersuchungen durchgeführt. Aktuell wurden in Abstimmung mit **RWE** die Anforderungen an die zu extrahierenden Objektklassen spezifiziert und eine Literaturrecherche zur Objektextraktion mittels KI durchgeführt.

AP5: Modellintegration der Störstellen

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

Im **AP5** wurden bereits im letzten Jahr erste Untersuchungen zur automatisierten Integration von ausgewählten sichtbaren Störstellen in das BIM-Modell mittels Programmierung in Dynamo durchgeführt. Das entwickelte Verfahren kann prinzipiell auf alle Arten von sichtbaren Störstellen übertragen werden. Aktuell wurde eine Literaturrecherche zur Integration der Wärmebilddaten ins BIM-Modell durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In den nächsten Monaten erfolgt die Beschaffung geeigneter Messtechnik für die Detektion der „unsichtbaren“ Störstellen, basierend auf den Versuchen im Rahmen von **AP2**. Parallel dazu werden weitere Untersuchungen im Rahmen von **AP4** und **AP5** durchgeführt. Insbesondere soll die Objektextraktion mittels der recherchierten KI-Methoden getestet und weiterentwickelt sowie die Integration der Wärmebilddaten ins BIM untersucht werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

Full Paper und Vortrag auf der DEM, Avignon, 2024

Full Paper und Vortrag auf der Kerntechnik, Leipzig, 2024

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9435B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWE Nuclear GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Visualisierung von Störstellen für Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessungen mit Hilfe von BIM (ViSDeMe) TP: Praxisversuche und praxisorientierte Beratung bei Anwendung des BIM-Modells für Planung und Durchführung der Dekontaminationsarbeiten und Entscheidungsmessung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2022 bis 30.06.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 79.738,73 €
Projektleiter/-in: Stephan Schilp	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: stephan.schilp@rwe.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

AP2 (Datenaufnahme): Datenaufnahme von Störstellen und Gebäudestruktur

AP3 (Punktwolkengenerierung): Entwicklung eines digitalen Gebäude-Modells

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

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

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

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

AP8 (Evaluationsphase): Auswertung der Ergebnisse am Beispielprojekt

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

Die bisher durchgeführten Arbeiten verliefen in enger Kooperation mit **KIT**. In dem angegebenen Berichtszeitraum fanden regelmäßige Online-Projekttreffen, ein Treffen in Mülheim-Kärlich sowie weitere Versuche in Mülheim-Kärlich statt.

Der Fokus lag auf den vertiefenden Tests zur Thermografie, den Wärmequellen und den Versuchen mit der BAM bzw. deren Nachbereitung. Hierzu wurden u.a. auch zwei Online-Termine mit der BAM durchgeführt.

Bisherige Tätigkeiten und Termine (Fortführung zum letzten Bericht):

1. Durchführung der Regeltermine **(PM)**
2. Projektgespräch in Mülheim-Kärlich, Vorstellung der bisherigen Arbeiten und Begehung vor Ort **(PM)**
3. Fachaustausch mit anderen Partnern zu Erfahrungen in der BIM-Aufnahme und Lokalisation von Ankerplatten **(AP 2)**
4. Beratende Unterstützung bei der Fertigstellung der Technologien zur Informationsextraktion für die Störstellen **(AP 4)**
5. Aktualisierung der Anforderungen auf Basis der Versuchsergebnisse der BAM **(AP 4)**
6. Abschluss der Marktrecherche zur Thermografiekameras und Wärmequellen und Bewertung im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse **(AP 4)**
7. Analyse der notwendigen Parameter für die Erstellung einer Komponente für jeden Störstellentyp **(AP 5)**
8. Beratend tätig bei der Konzepterstellung für die Integration von Störstellen im BIM-Modell **(AP 5)**

3.1 Rechercharbeiten zu Messverfahren

Die Versuche und Nacharbeiten zu den Messverfahren konnten abgeschlossen werden. Das Verfahren der Messung mittels Thermografiekamera und bei Bedarf einer aktiven Wärmequelle hat sich als vielversprechend herausgestellt. Allerdings sind die Kameras in dem Anforderungsbereich sehr teuer. Dies wird derzeit noch bewertet.

Alle anderen Verfahren – siehe hierzu auch letzter Halbjahresbericht – haben sich als unbrauchbar, zu teuer oder noch nicht marktreif herausgestellt. Dementsprechend sind die Rechercharbeiten und Versuche abgeschlossen.

a. Testmessungen zur Störstellendetektion (Folgearbeiten)

Die bisherigen Versuche haben folgende Punkte ergeben:

1. Ein leistungsfähigerer Strahler – stärker als der genutzte Super Beam 1200 könnte sehr hilfreich sein – sowohl zur Beleuchtung und Sichtung als auch als Wärmestrahler für die Thermografie.
2. Eine bessere Kamera kann vieles fast direkt sichtbar machen. Hierzu könnte – je nach räumlichen Gegebenheiten eine Ausleuchtung von wenigen Sekunden bis Minuten und entsprechende Aufnahme durch die Kamera ausreichen.
3. Bei manchem Räumen könnte eine einfache handgeführte Aufnahme von Wänden und Decken schon ausreichen (z.B. bei Außenwand im Winter)

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.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

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

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9439A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: RWE Nuclear GmbH, Huyssenallee 2, 45128 Essen	
Vorhabenbezeichnung: VP: Autonome robotergestützte Reinigung und Vormessung (ARRIVE) TP: Prototypbau einer autonomen Anlage zur Dekontamination und radiologischen Messung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2023 bis 28.02.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 361.573,90€
Projektleiter/-in: Dipl.-Ing. Thomas Schubert	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Thomas.Schuber@rwe.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Projekts ist, eine automatisierte und autonome robotergestützte Dekontamination von Bauteiloberflächen und die **radiologische** Messung von vorher unbekanntem individuellen Bauteilen unterschiedlichster Geometrie, Größe und Oberflächenbeschaffenheit mit variablen Mess- und Bearbeitungsverfahren durchzuführen. Dabei werden die im Vorprojekt ROBBE gewonnenen Erkenntnisse weiterentwickelt. Als Dekontaminationsverfahren wird ein robotergestütztes Laserablationsverfahren zur Anwendung kommen, während das Messverfahren radiologische Messungen mit einem oder mehreren unterschiedlichen Zählrohren durchführt, die eine qualitative und quantitative Aussage über radioaktive Verunreinigungen der gemessenen Oberflächen ermöglicht. Beide Verfahren erfordern eine besonders hohe Genauigkeit bei der Bauteilerkennung und bei der Anwendung der Wirkparameter der eingesetzten Bearbeitungs- und Messwerkzeuge. Die Bahnplanung verlangt eine bei beiden Verfahren eine unterschiedliche Bewegungsstrategie. Die roboterseitigen Werkzeuge stellen zudem höhere Anforderungen an die kinematische Steuerung: die eindimensionale Wirkzone des Laserwerkzeugs am Endeffektor ist aus Effizienzgründen in der Orientierung quer zur Verfahrtrichtung 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 Ergebnisse (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1 – Anforderungsanalyse und Systemdesign

Als Ergebnis der Anforderungsanalyse wird der Anlagenprototyp aus zwei getrennten Arbeitsstationen, eine für die Laserdekontamination und eine Station für die radiologische Messung aufgebaut. Die Geometrieerkennung von Bauteilen ist für beide Arbeitsstationen vorgesehen, damit auch ein unabhängiger Betrieb ermöglicht wird. Spezifikationen für die Sensoren und kinematisch relevanten Komponenten der Anlage wurden erarbeitet. Für die automatische Zufuhr von Bauteilen zum Roboter-Arbeits- und Messbereich wurden Vorplanungsunterlagen und Bedarfsanalysen erstellt und mit Fachanbietern und der Rückbaufabrik am Standort abgestimmt, damit die Anlage gut in die Rückbaufabrik integriert werden kann. Aus den Evaluierungsergebnissen des ursprünglichen Setups für die radiologische Messung wurde eine optimierte Designvariante abgeleitet. Beim wissenschaftlichen Projektpartner IGD wird ein hybrider Simulator als Laborprototyp aufgebaut, dessen Anlagentechnik abgestimmt und spezifiziert wurde.

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

Basierend auf den Vorgaben des Projektpartners IGD wurde ein maßhaltiges CAD-Simulationsmodell des zu entwickelnden Laserscanners aufgebaut und mehrere Entwürfe zur Integration der lichtoptischen Komponenten am Roboterarm -gemeinsam mit den erforderlichen Arbeits- und Messwerkzeugen- erstellt. Das Modell eignet sich, um die grundlegende Kinematik der Arbeitsstationen mit allen beweglichen Komponenten auszulegen und zu evaluieren. Auf diese Weise konnte eine optimierte Anbringung des Laserscanners am Endeffektor erarbeitet kinematische Abläufe für die Bauteilerkennung zur Vermeidung von Singularitäten abgeleitet werden.

AP3 – Laserdekontamination

Es wurden mehrere Entwürfe als 3D-CAD-Modell für den Laser-Bearbeitungskopf mit integrierter Sensorik zur Geometrieerkennung erstellt und in ein Robotersimulationsprogramm übertragen. Mit der Entwicklung technischer Lösungen für die Kabel- und Schlauchführung wurde begonnen. Es wird geprüft, ob eine neuartige Softwaresimulation des Projektpartners IGD für biegeschlaffe Bauteile sinnvoll integriert werden kann. Der Laserbearbeitungskopf ist sehr stöckantenbehaftet und nicht einfach zu integrieren. Die möglichen Trajektorien in Bauteilnähe hängen stark von der Orientierung des Kopfes und speziell von der Zufuhr des Laserfaserbündels in die Kollimatereinheit und die Führung des Absaugschlauches ab. Durch eine gute konstruktive Gestaltung des mechanischen Anschlusses am Endeffektor und eine möglichst spannungsfreie Führung der Verschlauchung kann die Fahrweise des Kopfes relativ zum Bauteil erheblich begünstigt werden. Auf diese Zusammenhänge und deren Simulation haben sich die ingenieurtechnischen Arbeiten fokussiert.

Darüber hinaus wurde die Absauganlage für den Laserrauch spezifiziert und deren Beschaffung eingeleitet.

AP4 – Vormessung (Orientierungsmessung)

Gemeinsam mit den Fachabteilungen am Betreiberstandort wurde begonnen, ein für den Standort integrationsfähiges Messkonzept zu erarbeiten und technisch umzusetzen. Das Messkonzept sieht vor, dass nach erfolgter Dekontamination die gereinigten Bauteile im Hinblick auf den Dekontaminationserfolg, also auf evtl. verbliebene Aktivität, radiologisch untersucht werden. Die Messung erfolgt in einer separaten Arbeitsstation an gereinigten Bauteilen. Mit Hilfe eines Beta-empfindlichen Detektors sowie einer Gammasonde soll die Bauteiloberfläche synchron ausgemessen werden. Eine Recherche nach geeigneten roboter- und digitalfähigen Detektoren wurde durchgeführt und darauf basierend begonnen, ein Konzept für die Signalübertragung und -auswertung zu entwickeln. Mit mehreren Messgeräteherstellern wurden Fachgespräche aufgenommen, die Geräte spezifiziert und deren Beschaffung vorbereitet.

Auch für die radiologische Messung wurde ein CAD-Modell des Endeffektors zur Integration der Sensorik gemeinsam mit den Komponenten der Geometrieerkennung entwickelt. Mit diesem Modell wurden Simulationen im Roboter-Arbeitsraum für Greif- und Störkantenuntersuchungen eingeleitet. Dabei wurde das Modell des Endeffektors in die Roboter-Simulationssoftware integriert. Es wird ferner untersucht, ob und inwieweit bei den Roboterposen an Bauteilen unterschiedlichster Geometrie Singularitäten auftreten können und wie diese ggf. zu vermeiden sind.

AP5 – Integration und Evaluation

Zwei Industrieroboter mit Steuerung und spezieller Auslegung für die beiden designierten Arbeitsstationen und die Laseranlage mit Bearbeitungskopf und sämtlichem erforderlichen Zubehör wurden beschafft und können zeitnah der Systemintegration beigelegt werden.

Es wurde ein Lastenheft für die Ausschreibung der Leistungen zur Systemintegration für beide Arbeitsstationen erstellt und die Ausschreibung eingeleitet. Das Konzepts für den Aufbau der Arbeitsstationen und die Bauteilzuführung wurde zwischenzeitlich unter Beteiligung der Herstellerfirmen kontinuierlich weiterentwickelt und evaluiert. Sich ergebende Änderungen im Anlagendesign und der Spezifikationen führten bereits zu einer erneuten Iteration und wurden als neue Arbeitsgrundlage der Systemintegration ausgearbeitet.

AP7 – Projektmanagement

Die technischen Leistungen zu den AP 2, 3 und 4 erforderten eine intensive Abstimmung mit dem wissenschaftlichen Partner IGD. Der Anlagenprototyp wird am Standort Biblis betreut, weshalb die dortige Organisation intensiv in die Vorplanungen einbezogen wurde.

Es wurden mehrere Projektgespräche mit den Projektpartnern und -beteiligten geführt. Ein sehr intensiver Austausch erfolgte mit außer mit dem Projektpartner IGD mit den anbietenden Firmen, dem Roboterhersteller und dem Lieferanten der Laseranlage. Der Projektterminplan wurde mehrfach überarbeitet. Im April erfolgte die Teilnahme am FORKA-Seminar in Berlin, die sich inzwischen als sehr vorteilhaft für die Entwicklung der radiologischen Messstation herausstellte.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP1: Finale Entwicklung des Anlagendesigns in Abstimmung mit der Betriebs-Fachabteilung. AP2: Einleitung der Beschaffung der Komponenten für den Laserscanner, für das Robotersystem des Laborprototyps und deren IBS (in Absprache mit IGD). AP3: Finale Konzeption für den Bauteiltransport. Weiterbearbeitung der technischen Lösung für die Schlauchführung am Roboter und zur Integration des Laserscanners am Endeffektor. AP4: Finale Spezifikation der Zählrohrtechnik und Einleitung der Beschaffung. Weiterbearbeitung der Integration am

Roboterarm mit dem Laserscanner. Entwicklung des Konzepts für die Messstrategie, die elektronische Auswertung und die Dokumentation. AP5: Erarbeitung der Ausführungsplanung mit dem Systemintegrator, ingenieurtechnische Begleitung der Arbeiten. AP6: Vorplanungen am Standort zur Integration der Prototypanlage in den Rückbaubetrieb. AP7: Beauftragung Anlagenbau. Management der verzögerungsbehafteten Terminalsituation. Projektanmeldung bei Arbeitsschutz und Behörde.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Teilnahme am BMBF-Status- und Doktorandenseminar im April 2024 in Berlin mit Fachvortrag.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 (ARRIVE) TP: Autonome Laserablation und radiologische Vormessung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2023 bis 28.02.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 1.601.161,45€
Projektleiter/-in: Dipl.-Ing. Thomas Schubert	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Thomas.Schubert@rwe.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ziel des Projekts ist, eine automatisierte und autonome robotergestützte Dekontamination von Bauteiloberflächen und die radiologische Messung von vorher unbekanntem individuellen Bauteilen unterschiedlichster Geometrie, Größe und Oberflächenbeschaffenheit mit variablen Mess- und Bearbeitungsverfahren durchzuführen. Dabei werden die im Vorprojekt ROBBE gewonnenen Erkenntnisse weiterentwickelt. Als Dekontaminationsverfahren wird ein robotergestütztes Laserablationsverfahren zur Anwendung kommen, während das Messverfahren radiologische Messungen mit einem oder mehreren unterschiedlichen Zählrohren durchführt, die eine qualitative und quantitative Aussage über radioaktive Verunreinigungen der gemessenen Oberflächen ermöglicht. Beide Verfahren erfordern eine besonders hohe Genauigkeit bei der Bauteilerkennung und bei der Anwendung der Wirkparameter der eingesetzten Bearbeitungs- und Messwerkzeuge. Die Bahnplanung verlangt eine bei beiden Verfahren eine unterschiedliche Bewegungsstrategie. Die roboterseitigen Werkzeuge stellen zudem höhere Anforderungen an die kinematische Steuerung: die eindimensionale Wirkzone des Laserwerkzeugs am Endeffektor ist aus Effizienzgründen in der Orientierung quer zur Verfahrtrichtung 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 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

Als Ergebnis der Anforderungsanalyse wird der Anlagenprototyp aus zwei getrennten Arbeitsstationen, eine für die Laserdekontamination und eine Station für die radiologische Messung aufgebaut. Die Geometrierkennung von Bauteilen ist für beide Arbeitsstationen vorgesehen, damit auch ein unabhängiger Betrieb ermöglicht wird. Spezifikationen für die Sensoren und kinematisch relevanten Komponenten der Anlage wurden erarbeitet. Für die automatische Zufuhr von Bauteilen zum Roboter-Arbeits- und Messbereich wurden Vorplanungsunterlagen und Bedarfsanalysen erstellt und mit Fachanbietern und der Rückbaufabrik am Standort abgestimmt, damit die Anlage gut in die Rückbaufabrik integriert werden kann. Aus den Evaluierungsergebnissen des ursprünglichen Setups für die radiologische Messung wurde eine optimierte Designvariante abgeleitet. Am IGD wird ein hybrider Simulator als Laborprototyp aufgebaut, dessen Anlagentechnik abgestimmt und spezifiziert wurde.

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

Basierend auf unseren Vorgaben wurde ein maßhaltiges CAD-Simulationsmodell des zu entwickelnden Laserscanners aufgebaut und mehrere Entwürfe zur Integration der lichteoptischen Komponenten am Roboterarm – zusammen mit den erforderlichen Arbeits- und Messwerkzeugen – erstellt. Das Modell eignet sich, um die grundlegende Kinematik der Arbeitsstationen mit allen beweglichen Komponenten auszulegen und zu evaluieren. Auf diese Weise konnte eine optimierte Anbringung des Laserscanners am Endeffektor erarbeitet kinematische Abläufe für die Bauteilerkennung zur Vermeidung von Singularitäten abgeleitet werden.

Softwareseitig wurde begonnen, den Bewegungsplaner für ARRIVE zu konstruieren. Dieser basiert auf der in ROBBE verwendeten Technologie, allerdings in einer abstrahierten Form, da unterschiedliche Roboterzellen zur Anwendung kommen. Zusätzlich wurde der von ROBBE bekannte Planer in drei Komponenten zerlegt: Dem virtuellen Zwilling, einem Wegefinder und dem eigentlichen Bahnplaner. Der Wegefinder ist hierbei neu und eine Reaktion auf die Beobachtung bei ROBBE, dass es viele Bewegungen gibt, die einfach im Raum von A nach B ausgeführt werden sollen und nicht Teil der Bahnplanung sind. Da sich der Bahnplaner immer auf die Oberfläche des Werkstücks bezieht, macht es wenig Sinn, diese Klasse von Bewegungen dem Bahnplaner zu überlassen. Der Bewegungsplaner kommt hier ins Spiel – er berücksichtigt bei der Bewegung die gesamte Roboterzelle inklusive der am Roboter befestigten Elemente für die Planung einer Bewegung von A nach B, um diese Kollisionsfrei und mit möglichst wenig Stress für die Verkabelung auszuführen.

Hierzu wurde begonnen, eine physikalisch inspirierte Simulation der Belastung von am Roboter montierten biegeschlaffen Elementen (Schläuche, Rohre, Kabel) und deren Leitelemente zu entwickeln. Diese liefert Schätzwerte der Biegung, Torsion und Dehnung, welche bei der Optimierung in der Bahnplanung verwendet werden.

AP3 – Laserdekontamination

Es wurden mehrere Entwürfe als 3D-CAD-Modell für den Laser-Bearbeitungskopf mit integrierter Sensorik zur Geometrieerkennung erstellt und in ein Robotersimulationsprogramm übertragen. Mit der Entwicklung technischer Lösungen für die Kabel- und Schlauchführung wurde begonnen. Wir prüfen, ob wir eine von uns entwickelte neuartige Softwaresimulation für biegeschlaffe Bauteile sinnvoll integrieren können. Der Laserbearbeitungskopf ist sehr störkantenbehaftet und nicht einfach zu integrieren. Die möglichen Trajektorien in Bauteilnähe hängen stark von der Orientierung des Kopfes und speziell von der Zufuhr des Laserfaserbündels in die Kollimatoreinheit und die Führung des Absaugschlauches ab. Durch eine gute konstruktive Gestaltung des mechanischen Anschlusses am Endeffektor und eine möglichst spannungsfreie Führung der Verschlauchung kann die Fahrweise des Kopfes relativ zum Bauteil erheblich begünstigt werden. Auf diese Zusammenhänge und deren Simulation haben sich die ingenieurtechnischen Arbeiten fokussiert.

Darüber hinaus wurde die Absauganlage für den Laserrauch spezifiziert und deren Beschaffung eingeleitet.

AP4 – Vormessung (Orientierungsmessung)

Gemeinsam mit den Fachabteilungen am Betreiberstandort wurde begonnen, ein für den Standort integrationsfähiges Messkonzept zu erarbeiten und technisch umzusetzen. Das Messkonzept sieht vor, dass nach erfolgter Dekontamination die gereinigten Bauteile im Hinblick auf den Dekontaminationserfolg, also auf evtl. verbliebene Aktivität, radiologisch untersucht werden. Die Messung erfolgt in einer separaten Arbeitsstation an gereinigten Bauteilen. Mit Hilfe eines Beta-empfindlichen Detektors sowie einer Gammasonde soll die Bauteiloberfläche synchron ausgemessen werden. Eine Recherche nach geeigneten roboter- und digitalfähigen Detektoren wurde durchgeführt und darauf basierend begonnen, ein Konzept für die Signalübertragung und -auswertung zu entwickeln. Mit mehreren Messgeräteherstellern wurden Fachgespräche aufgenommen, die Geräte spezifiziert und deren Beschaffung vorbereitet.

Auch für die radiologische Messung wurde ein CAD-Modell des Endeffektors zur Integration der Sensorik gemeinsam mit den Komponenten der Geometrieerkennung entwickelt. Mit diesem Modell wurden Simulationen im Roboter-Arbeitsraum für Greif- und Störkantenuntersuchungen eingeleitet. Dabei wurde das Modell des Endeffektors in die Roboter-Simulationssoftware integriert. Es wird ferner untersucht, ob und inwieweit bei den Roboterposen an Bauteilen unterschiedlichster Geometrie Singularitäten auftreten können und wie diese ggf. zu vermeiden sind.

AP5 – Integration und Evaluation

Zwei Industrieroboter mit Steuerung und spezieller Auslegung für die beiden designierten Arbeitsstationen und die Laseranlage mit Bearbeitungskopf und sämtlichem erforderlichen Zubehör wurden beschafft und können zeitnah der Systemintegration beigestellt werden.

Es wurde ein Lastenheft für die Ausschreibung der Leistungen zur Systemintegration für beide Arbeitsstationen erstellt und die Ausschreibung eingeleitet. Das Konzept für den Aufbau der Arbeitsstationen und die Bauteilzuführung wurde zwischenzeitlich unter Beteiligung der Herstellerfirmen kontinuierlich weiterentwickelt und evaluiert. Sich ergebende Änderungen im Anlagendesign und der Spezifikationen führten bereits zu einer erneuten Iteration und wurden als neue Arbeitsgrundlage der Systemintegration ausgearbeitet.

Am Fraunhofer IGD wird eine Teilmenge der Anlage, wie sie für die Rückbauanlage Biblis geplant ist, aufgebaut, abstrahiert auf nur eine Arbeitsstation, bestehend aus identischem Roboterarm (in Standardausführung) auf Linearachse sowie Drehteller. Grund für den separaten Aufbau am Fraunhofer IGD ist die erhöhte Komplexität der Roboter-Programmierung und Bahnplanung durch höhere Anforderungen an Positioniergenauigkeit und Bewegungsfreiraum durch den

Ansatz der Laserablation, weswegen ein 7-Achs-System (Roboter-Basis verfahren durch Linearachse) zum Einsatz kommt. Die Linearachse ist dabei ein integrierter, synchron verfahrener Bestandteil des Roboter-Systems, wodurch die Länge der Trajektorien bei der Laserablation maximiert und damit Gesamtbearbeitungszeit und Effizienz optimiert werden können. Das System am Fraunhofer IGD besteht aus identischen Komponenten (in Standardausführung) zu denen des finalen Systems in Biblis, um Abweichungen zwischen den Systemen bei Softwareentwicklung und Tests zu minimieren, und ist als separates Testsystem (Laborprototyp) am Standort Fraunhofer IGD für die effizientere Softwareentwicklung erforderlich (drastische Reduktion von Dienstreisen, keine arbeitsplatzbedingten Einschränkungen der Softwareentwicklung). Ausschreibungen für den Roboterarm und die Gesamtintegration des Systems aus Roboterarm, Linearachse, Drehteller und Schutzhäusung laufen.

AP7 – Projektmanagement

Die technischen Leistungen zu den AP 2, 3 und 4 erforderten eine intensive Abstimmung mit der RWE Nuclear GmbH. Der Anlagenprototyp wird am Standort Biblis betreut, weshalb die dortige Organisation intensiv in die Vorplanungen einbezogen wurde.

Es wurden mehrere Projektgespräche mit den Projektpartnern und -beteiligten geführt. Ein sehr intensiver Austausch erfolgte ebenfalls mit den anbietenden Firmen, dem Roboterhersteller und dem Lieferanten der Laseranlage. Der Projektterminplan wurde mehrfach überarbeitet. Im April erfolgte die Teilnahme am FORKA-Seminar in Berlin, die sich inzwischen als sehr vorteilhaft für die Entwicklung der radiologischen Messstation herausstellte.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- AP1: Finale Entwicklung des Anlagendesigns in Abstimmung mit der Betriebs-Fachabteilung.
- AP2: Einleitung der Beschaffung der Komponenten für den Laserscanner, für das Robotersystem des Laborprototyps und deren IBS (in Absprache mit IGD).
- AP3: Finale Konzeption für den Bauteiltransport. Weiterbearbeitung der technischen Lösung für die Schlauchführung am Roboter und zur Integration des Laserscanners am Endeffektor.
- AP4: Finale Spezifikation der Zählrohrtechnik und Einleitung der Beschaffung. Weiterbearbeitung der Integration am Roboterarm mit dem Laserscanner. Entwicklung des Konzepts für die Messstrategie, die elektronische Auswertung und die Dokumentation.
- AP5: Auswahl und Beauftragung des Systemintegrators, ingenieurtechnische Begleitung der Arbeiten zur Systemintegration (für beide Systeme, RWE Biblis und Fraunhofer IGD, s. AP6 in Abschnitt 3).
- AP6: Vorplanungen am Standort zur Integration der Prototypanlage in den Rückbaubetrieb.
- AP7: Aktualisierung des Projektterminplans. Einleitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Wissenschaftskommunikation.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Teilnahme am BMBF-Status- und Doktorandenseminar im April 2024 in Berlin mit Fachvortrag.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKONT-2) TP: Konzeption und Entwurf der Versuchsmuster	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 257.388,30€
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. Dr.sc.agr. Kurt Heppler	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: kheppler@htwg-konstanz.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen muss, zur Sicherstellung der Kontaminationsfreiheit der bestehenden Gebäudestruktur, eine Oberflächendekontamination der Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberfläche, welche für eine erfolgreiche Freimessung dekontaminiert werden muss. Üblicherweise erfolgt die Dekontamination durch das Abtragen der Oberfläche, bis zu der Tiefe, ab der keine Kontamination mehr vorliegt.

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

AP 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster

Die Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster wurde weiter fortgeführt. Es fand eine grundlegende Neukonzipierung und Verbesserung aller Bestandteile (Trägergerät, Einhausung & Diamantscheiben) des Werkzeugs statt. Die Trägergeräte mit kabellosem Antrieb erfüllten die geforderten Eigenschaften und sind als feste Betriebsoption bewährt. Die Einhausung der Werkzeugs wurde komplett neu konstruiert und aus CNC-bearbeitetem Aluminium gefertigt. Dies verringert das Einhausungsgewicht um ca. 51% und durch die Massivbauweise konnte die Einhausung komplett ohne Schweißverbindungen hergestellt werden. In Zusammenarbeit mit der HTWG Konstanz fanden Untersuchungen zu 3D-gedruckten Einhausungen aus Kunststoff statt. Hierzu werden verschiedene Konstruktionsmethoden und Materialien weiter evaluiert und in AP5 und AP7 vertieft aufgegriffen.

Die Diamantscheiben wurden durch die Contec GmbH bearbeitet. Hierfür wurden die bisher verwendeten Diamantscheiben per Laserschnitt in Kombination mit den neuen Konstruktionszeichnungen deutlich leichter gestaltet. Das Diamantscheibendesign wurde anschließend erneut überarbeitet um gängige DIN-Normen zu erfüllen sowie eine maximal zulässige Gewichtseinsparung zu erzielen.

AP 3: Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand

Zur Zusammenführung von Testwerkzeug und Versuchsstand ist die Konzeption einer neuen Werkzeugaufnahme notwendig, da sich die Geometrie des Werkzeugs verändert hat. Ebenfalls sollen verschiedene Winkel zur Vorschubrichtung getestet werden, was eine neue Werkzeugaufnahme ohnehin notwendig macht. Aus diesem Grund wurde ein Greifsystem um das Werkzeug konstruiert und anschließend gefertigt. 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. Ein planmäßiger Erfolg des Arbeitspakets Ende Juli ist angedacht.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 3: Bis Ende Juli soll Arbeitspaket 3 abgeschlossen werden. Die Werkzeugaufnahme ist hierfür bereits konstruiert und wird momentan gefertigt. Die Fertigstellung ist zum aktuellen Zeitpunkt bis zum geplanten Arbeitspaket-Ende realisierbar.

AP 4: Die Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse soll ab August 2024 erfolgen. Hierbei werden die neu entwickelten Testwerkzeugoptionen sowie die gefertigte Werkzeugaufnahme unter Laborkonditionen getestet und Rückschlüsse für den weiteren Projektverlauf gezogen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- 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

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKONT-2) TP: Durchführung experimenteller Versuche und Auswertung der Versuchsmuster	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 250.518,25 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing. S. Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen muss, zur Sicherstellung der Kontaminationsfreiheit der bestehenden Gebäudestruktur, eine Oberflächendekontamination der Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberfläche, welche für eine erfolgreiche Freimessung dekontaminiert werden muss. Üblicherweise erfolgt die Dekontamination durch das Abtragen der Oberfläche, bis zu der Tiefe, ab der keine Kontamination mehr vorliegt.

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

AP 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster

Die Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster wurde weiter fortgeführt. Es fand eine grundlegende Neukonzipierung und Verbesserung aller Bestandteile (Trägergerät, Einhausung & Diamantscheiben) des Werkzeugs statt. Die Trägergeräte mit kabellosem Antrieb erfüllten die geforderten Eigenschaften und sind als feste Betriebsoption bewährt. Die Einhausung der Werkzeugs wurde komplett neu konstruiert und aus CNC-bearbeitetem Aluminium gefertigt. Dies verringert das Einhausungsgewicht um ca. 51% und durch die Massivbauweise konnte die Einhausung komplett ohne Schweißverbindungen hergestellt werden. In Zusammenarbeit mit der HTWG Konstanz fanden Untersuchungen zu 3D-gedruckten Einhausungen aus Kunststoff statt. Hierzu werden verschiedene Konstruktionsmethoden und Materialien weiter evaluiert und in AP5 und AP7 vertieft aufgegriffen.

Die Diamantscheiben wurden durch die Contec GmbH bearbeitet. Hierfür wurden die bisher verwendeten Diamantscheiben per Laserschnitt in Kombination mit den neuen Konstruktionszeichnungen deutlich leichter gestaltet. Das Diamantscheibendesign wurde anschließend erneut überarbeitet um gängige DIN-Normen zu erfüllen sowie eine maximal zulässige Gewichtseinsparung zu erzielen.

AP 3: Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand

Zur Zusammenführung von Testwerkzeug und Versuchsstand ist die Konzeption einer neuen Werkzeugaufnahme notwendig, da sich die Geometrie des Werkzeugs verändert hat. Ebenfalls sollen verschiedene Winkel zur Vorschubrichtung getestet werden, was eine neue Werkzeugaufnahme ohnehin notwendig macht. Aus diesem Grund wurde ein Greifsystem um das Werkzeug konstruiert und anschließend gefertigt. 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. Ein planmäßiger Erfolg des Arbeitspakets Ende Juli ist angedacht.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 3: Bis Ende Juli soll Arbeitspaket 3 abgeschlossen werden. Die Werkzeugaufnahme ist hierfür bereits konstruiert und wird momentan gefertigt. Die Fertigstellung ist zum aktuellen Zeitpunkt bis zum geplanten Arbeitspaket-Ende realisierbar.

AP 4: Die Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse soll ab August 2024 erfolgen. Hierbei werden die neu entwickelten Testwerkzeugoptionen sowie die gefertigte Werkzeugaufnahme unter Laborkonditionen getestet und Rückschlüsse für den weiteren Projektverlauf gezogen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- 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

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9440C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Contec GmbH, Hauptstraße 146, 57518 Alsdorf	
Vorhabenbezeichnung: 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	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 119.334,85 €
Projektleiter/-in: Johannes Greb	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: greb@contecgmbh.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Beim Rückbau kerntechnischer Anlagen muss, zur Sicherstellung der Kontaminationsfreiheit der bestehenden Gebäudestruktur, eine Oberflächendekontamination der Räumlichkeiten durchgeführt werden. Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberfläche, welche für eine erfolgreiche Freimessung dekontaminiert werden muss. Üblicherweise erfolgt die Dekontamination durch das Abtragen der Oberfläche, bis zu der Tiefe, ab der keine Kontamination mehr vorliegt.

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

AP 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster

Die Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster wurde weiter fortgeführt. Es fand eine grundlegende Neukonzipierung und Verbesserung aller Bestandteile (Trägergerät, Einhausung & Diamantscheiben) des Werkzeugs statt. Contec fiel hierbei die Weiterentwicklung der Diamanttrennscheiben zu.

Mit dem Ziel möglichst viel Material aus dem Stammbblatt zur Gewichtseinsparung zu entfernen, wurden Geometrien in die Stammbblätter eingebracht, die die strukturelle Integrität weitestgehend beibehalten. In einem ersten Schritt konnten hierfür Blätter aus dem Bestand des Projektes EKONT-1 genommen werden. Die Stammbblätter wurden auf einer eigens dafür konstruierten Schablone auf der Laserschneidanlage der Firma bearbeitet.

Doch erwies sich dies Positionierung mittels der Vorrichtung als zu ungenau.

Darauf wurden neue Stammbblätter mit DIN-Normung gerechter Geometrie aus Werkzeugstahl gefertigt und von einer Partnerfirma des Unternehmens mit, für die Anwendung gerechten, Diamantsegmenten besetzt.

Die optimierten Scheiben konnten durch die Bearbeitung eine Gewichtseinsparung von 12 % einbringen.

AP 3: Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand

Dem KIT wurden die zwei Generationen der optimierten Scheiben für den Einsatz und die Auswertung auf dem Prüfstand bereitgestellt. Weiter stand Contec im Austausch mit dem HTWG zur Ausarbeitung der Einhausung.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 3: Bis Ende Juli soll Arbeitspaket 3 abgeschlossen werden. Die Werkzeugaufnahme ist hierfür bereits konstruiert und wird momentan gefertigt. Die Fertigstellung ist zum aktuellen Zeitpunkt bis zum geplanten Arbeitspaket-Ende realisierbar.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- 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

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9440D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: SAT Kerntechnik GmbH Am Guten Brunnen 10, 67547 Worms	
Vorhabenbezeichnung: VP: Weiterentwicklung von Geräten für eine trockenmechanische Ecken- und Innenkantendekontamination in kerntechnischen Anlagen (EKONT-2) TP: Praxisversuche und Verifizierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 68.468,59 €
Projektleiter/-in: Stefan Stemmler	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: stefan.stemmler@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 Arbeitsprogramm Punkten)

AP 2: Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster

Die Entwicklung und Anfertigung der Versuchsmuster wurden weiter fortgeführt. Es fand eine grundlegende Neukonzipierung und Verbesserung aller Bestandteile (Trägergerät, Einhausung & Diamantscheiben) des Werkzeugs statt. Die Trägergeräte mit kabellosem Antrieb erfüllten die geforderten Eigenschaften und sind als feste Betriebsoption bewährt. Die Einhausung des Werkzeugs wurde komplett neu konstruiert und aus CNC-bearbeitetem Aluminium gefertigt. Dies verringert das Einhausungsgewicht um ca. 51% und durch die Massivbauweise konnte die Einhausung komplett ohne Schweißverbindungen hergestellt werden. In Zusammenarbeit mit der HTWG Konstanz fanden Untersuchungen zu 3D-gedruckten Einhausungen aus Kunststoff statt. Hierzu werden verschiedene Konstruktionsmethoden und Materialien weiter evaluiert und in AP5 und AP7 vertieft aufgegriffen.

Die Diamantscheiben wurden durch die Contec GmbH bearbeitet. Hierfür wurden die bisher verwendeten Diamantscheiben per Laserzuschnitt in Kombination mit den neuen Konstruktionszeichnungen deutlich leichter gestaltet. Das Diamantscheibendesign wurde anschließend erneut überarbeitet, um gängige DIN-Normen zu erfüllen sowie eine maximal zulässige Gewichtseinsparung zu erzielen.

Seitens SAT erfolgte eine Zuarbeit und Beratung aus der Anwendersicht. Wichtige Inputs der SAT bezogen sich dabei auf den Antrieb (bürstenlos) und arbeitssicherheitstechnische Fragestellungen (Lärm, Vibrationen, Staubabsaugung, Ergonomie).

Im Januar fand das erste Projekttreffen 2024 in den Räumlichkeiten der SAT in Worms statt.

AP 3: Zusammenführung und Inbetriebnahme von Versuchsmustern und Versuchsstand

Zur Zusammenführung von Testwerkzeug und Versuchsstand ist die Konzeption einer neuen Werkzeugaufnahme notwendig, da sich die Geometrie des Werkzeugs verändert hat. Ebenfalls sollen verschiedene Winkel zur Vorschubrichtung getestet werden, was eine neue Werkzeugaufnahme ohnehin notwendig macht. Aus diesem Grund wurde ein Greifsystem um das Werkzeug konstruiert und anschließend gefertigt. 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. Ein planmäßiger Erfolg des Arbeitspakets Ende Juli ist angedacht.

Mitwirkung der SAT zum AP3 erfolgte im Rahmen der regelmäßigen, bilateralen Abstimmungen mit den einzelnen Projektpartnern. Dazu gehörte ein Update der Gefährdungsbeurteilung, die initial bei EKONT1 erstellt wurde. Weiterhin Vorbereitung des Fachvortrages bei der „Fachtagung Kerntechnik“ in Leipzig sowie Teilnahme an dieser Tagung mit einer SAT-Delegation.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP 3: Bis Ende Juli soll Arbeitspaket 3 abgeschlossen werden. Die Werkzeugaufnahme ist hierfür bereits konstruiert und wird momentan gefertigt. Die Fertigstellung ist zum aktuellen Zeitpunkt bis zum geplanten Arbeitspaket-Ende realisierbar. Seitens SAT wird zur letzten Phase von AP3 nur noch wenig Input erforderlich sein. In den Zeitraum bis Ende Juli fällt auch das 2. Projekttreffen 2024 (in der Hochschule Konstanz am 17.07.2024)

AP 4: Die Durchführung der experimentellen Versuchsreihen sowie Auswertung und Vergleich der Ergebnisse soll ab August 2024 erfolgen. Hierbei werden die neu entwickelten Testwerkzeugooptionen sowie die gefertigte Werkzeugaufnahme unter Laborkonditionen getestet und Rückschlüsse für den weiteren Projektverlauf gezogen. Die SAT plant bei einzelnen Versuchsreihen im KIT vor Ort zu sein und die Ergebnisse aus Anwendersicht bewerten und einordnen. In den Zeitraum dieses Arbeitspaketes fällt auch die Messe ICOND in Aachen (19. – 21.11.2024), wo die SAT als Aussteller teilnehmen wird. Wir überlegen, das Versuchsmuster an unserem Messestand auszustellen und zu präsentieren).

AP 5-7: Der Schwerpunkt der SAT-Arbeit wird erst in 2025 liegen, wenn die Praxisversuche unter echten Einsatzbedingungen vor Ort durchgeführt werden. Aus heutiger Sicht werden wir die Versuche im Reaktorgebäude des KWO (Kernkraftwerk Obrigheim) durchführen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

- 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

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 (BERO) 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 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 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 Ausbalkopf
- AP7: Experimentelle Versuchsreihen 2
- AP8: Konstruktion finaler Beprobungs- und Ausbalkopf inklusive Herstellung und Zusammenführung aller Komponenten
- AP9: Umbau Versuchsstand TMB
- AP10: Praktische Versuchsreihe mit Prototyp
- AP11: Dokumentation

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

Im Januar 2024 wurde zwischen der IBASS GmbH, RWE und dem KIT-TMB ein Treffen im Kernkraftwerk in Mülheim-Kärlich abgehalten. Hierdurch konnte die durchgeführte Recherche aus AP1 vor Ort bestätigt werden, sowie die realen Bedingungen betrachtet und analysiert werden. Durch diese Einblicke konnten die Randbedingungen bzw. Haupteinflussfaktoren für den später geplanten Demonstrator abgesteckt werden. Im Anschluss konnte mit Hilfe dieser Informationen die Ausrichtung des Projektes genauer definiert werden. Es wurde ein Lastenheft mit den Ergebnissen, Anforderungen und Grenzen verfasst. Durch die Prozessanalyse und das Erstellen eines Lastenheftes, welches ebenfalls auf die verschiedenen Abtragsverfahren sowie Prozesseinflussfaktoren eingeht, konnte AP2 abgeschlossen werden. Ab Mai 2024 startete AP3 mit dem Ziel einen Versuchsstand inklusive Analysesensorik aufzubauen. Die theoretische Konstruktion des Versuchsstandes sowie die Bestellung erster Teile ist bereits erfolgreich abgeschlossen. Zudem wurde zu der Auswahl der Sensorik bereits eine gründliche Recherche durchgeführt, die noch weiter vertieft wird.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In den nächsten Monaten soll AP3 fristgerecht beendet werden. Hierfür muss der Versuchsstand aufgebaut und die Sensorik verbaut und kalibriert werden. Ab Oktober 2024 sollen die ersten experimentellen Versuchsreihen beginnen (AP4). Nach dem ersten Meilenstein des Projektes (Abschluss AP3) ist ein Projekttreffen mit allen Partnern geplant. Hier sollen zum einen die ersten Ergebnisse präsentiert werden, zum anderen die geplante Richtung des Projektes erneut verifiziert werden. So kann eine zielgerichtete Auslegung des Projekts gewährleistet werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Das Projekt wurde mit einem Vortrag auf der KERNTECHNIK 2024 in Leipzig präsentiert. Zudem wurde vorab ein Full-Paper bei der KERNTECHNIK2024 eingereicht, welches im Anschluss an die Veranstaltung in den Conference Proceedings auf scientific.net und im Fachjournal „atw – International Journal for Nuclear Power“ veröffentlicht wird.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 31.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9444B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: IBASS GmbH & Co.KG	
Vorhabenbezeichnung: VP: Entwicklung eines Beprobungssystems inklusive qualitätsgesichertem Beprobungsverfahren für nicht zugängliche Bereiche (BERO) TP: Konstruktion und Herstellung eines innovativen Trägersystems inkl. Beprobungs- und Ausbaukopf für Rohrleitungen in nicht zugänglichen Bereichen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2023 bis 30.09.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 148.191,00 €
Projektleiter/-in: Dipl.-HTL-Ing. Michael Strasser	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: mstrasser@ibass.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

AP7: Experimentelle Versuchsreihen 2

AP8: Konstruktion finaler Beprobungs- und 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)

Seit der Besprechung im KKW Mülheim-Kärlich am 15.01.2024 hat IBASS keine weiteren Aktivitäten in dem Projekt, da wir derzeit auf die Vorarbeiten vom KIT warten. Es wurde jedoch eine Kunststoff verarbeitende Firma ausfindig gemacht, die sich mit der Bearbeitung dieser seit 30 Jahren beschäftigt und uns so einen guten Input liefern kann.

Wenn dann die Technik für das Beprobungssystem feststeht, wird IBASS mit den Konstruktionsarbeiten beginnen (AP4).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Besuch bei der Kunststoffverarbeitenden Firma zum Gedankenaustausch wie man die erwähnten PP Werkstoffe bearbeiten kann um die notwendige Menge an Beprobungsmaterial zu gewinnen (AP2).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Das Projekt wurde in einem Vortrag auf der Kerntechnik 2024 in Leipzig präsentiert. Zudem wurde vorab ein Full-Paper bei der Kerntechnik 2024 eingereicht, welches im Anschluss an die Veranstaltung in der Conference Proceedings auf scientific.net und im Fachjournal „atw-International Journal for Nuclear Power“ veröffentlicht wird.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9431A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hellma Materials GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie (QGRIS) TP: Gerätebau und -entwicklung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 492.193,85 €
Projektleiter/-in: Dr. Sibylle Petrak	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Sibylle.Petrak@hellma.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Gesamtziel des Projektes ist die Entwicklung und Umsetzung eines neuartigen Messverfahrens für die Bewertung des radiologischen Zustands von Gebäuden und kerntechnischen Anlagenteilen im Rahmen der radiologischen Erkundung zur Rückbauplanung und Erfolgskontrolle, der Lenkung/Optimierung einzelner Rückbauschritte sowie der schnellen Erkundung im Rahmen der Gefahrenabwehr (Störfallvorsorge). Das Teilprojekt Gerätebau und –entwicklung hat zum Ziel, einen Prototypen eines kollimationsfreien, richtungsaufgelösten In-situ Gammaspektrometers in drei Ausführungsmodellen herzustellen. Der Prototyp soll einerseits die Zusammensetzung der Kontamination (das Radionuklidgemisch) und die Höhe der Kontamination feststellen und andererseits die räumliche Verteilung mit einem bildgebenden Verfahren bestimmen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm (im Berichtszeitraum)

AP 4 Labormessungen, Versuchsreihen

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

4.6 Datenvisualisierung (5/2023-8/2023)

AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen

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

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

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

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

AP 6 Workshop & Dokumentation

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

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

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

6.4 Abschlussbericht (3/2024-5/2024)

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

Abgeschlossene Arbeitspakete:

AP 1, 2, 3

Abgeschlossene Programmpunkte:

AP 4.1 bis 4.4

Laufende Programmpunkte:

AP 4.5 bis 4.6

AP 5.1 bis 5.4

AP 6.1 bis 6.4

Projektmeetings und Workshops:

- 7. Projektmeeting 24.04.24, VKTA, Dresden-Rossendorf
- QGRIS Workshop 25.04.24, VKTA, Dresden-Rossendorf
- FORKA Statusseminar 10./11.04.24, Berlin und ehem. Kernkraftwerk Lubmin

Messkampagne:

- 04. bis 08.03.24, ehem. Kernkraftwerk Rheinsberg

In **AP 3** wurde das dritte Gerät des QGRIS-Projekts, die rotierende RSL4 Compton Kamera, fertiggestellt (siehe Abb. 1).



Abb 1. Vorder- und Rückansicht der RSL4 Compton Kamera.

Die RSL4-Detektorgruppe aus zwei Cerbromid- und zwei Plastik-Detektoren wird über einen Winkelbereich von 180° rotiert; danach dreht sich die Bewegungsrichtung um. Die 180° Rotationen werden in einer Endlos-Schleife bis zum Ende der Messzeit fortgesetzt. Das Gerät ist

mit einem LabView Datenakquisitionsprogramm ausgestattet, welches die Messwerte aufzeichnet und mit der Hardware kommuniziert, um z.B. die Detektor-Hochspannung oder die Rotationsgeschwindigkeit einzustellen. Die Messwerte bestehen aus Spektrumsdaten der Cerbromid-Detektoren und Koinzidenzdaten, bei denen gleichzeitig zwei Detektoren aus der RSL4-Gruppe ionisiert werden.

Die Arbeiten in **AP 4.6** Datenvisualisierung wurden fortgesetzt – es wurde eine neue Version der graphischen Benutzeroberfläche für das RSL7 Gerät fertiggestellt. Die Messwerte und die von der Bildrekonstruktion berechneten Gammakamerabilder, wie auch die RSL7 Trainingsdaten, welche der Modellierung zugrunde liegen, werden nun übersichtlich in mehreren separaten Fenstern dargestellt. Abb. 3 zeigt die Darstellung der Spektrumsdaten und Abb. 4 die Koinzidenzdaten in dem neuen GUI für den RSL7.

In Vorbereitung der Messkampagne im ehemaligen Kernkraftwerk Rheinsberg wurde eine Schnittstelle zwischen der LabView- und der nachgelagerten Auswertesoftware eingerichtet, um die Messungen in Nahe-Echtzeit auswerten zu können. Das in der Programmiersprache Octave erstellte Auswerte- und GUI-Skript kann nun direkt im LabView-Programm aufgerufen werden.

Der RSL7 wurde am 20. Februar 2024 an Herrn Dr. Henry Lösch (VKTA) und Herrn Dr. Thomas Kaden (HSZG) übergeben, die zu diesem Zweck nach Jena angereist waren. Gleichzeitig fand eine Messung mit dem RSL7 in Jena statt. Herr Karsten Hölzer und Frau Dr. Sibylle Petrak informierten die Projektpartner über aktuelle Neuerungen am RSL7 Gerät in Hinblick auf die geplante Messkampagne im Kernkraftwerk Rheinsberg.

In **AP 5** organisierte der Projektpartner VKTA eine Messkampagne mit dem RSL7 im Kernkraftwerk Rheinsberg, die vom 4. bis 8. März 2024 stattfand. Das Kernkraftwerk Rheinsberg wird von der EWN GmbH zurückgebaut. Dank der freundlichen Unterstützung der EWN-Mitarbeiter Dr. Matthias Fischer und Bill Maßlow wurde die Messkampagne zu einem echten Erfolg. Es wurden zwei Messteams aus je drei Personen der Projektpartner gebildet. Die Messteams wurden von Bill Maßlow durch das Kernkraftwerk begleitet; Dr. Matthias Fischer gab die Strahlenschutzweisung. Die Messteams blieben für jeweils zwei Tage zusammen; dann wurde gewechselt. Am 6. und 7. März 2024 nahmen Frau Dr. Sibylle Petrak und Herr Michael Selle an den Messungen teil; der Dritte im Bunde war Herr Dr. Henry Lösch vom VKTA, der die ganze Woche über anwesend war und die Kampagne maßgeblich organisierte.

Insgesamt wurden mehr als 30 Messungen an unterschiedlichen Standorten im Maschinen- und Apparatehaus in Rheinsberg durchgeführt. Einer dieser Standorte ist der in Abb. 2 rechts abgebildete Gang AH 303, in dem sich eine radioaktive Rohrleitung befindet. Die Stelle ist mit Strahlungs-Warnschildern gekennzeichnet und teilweise abgeschirmt. Es wurden Messdaten aus einer Entfernung von 6 m aufgezeichnet; die Daten sind in Abb. 3 und Abb. 4 dargestellt.



Abb 2. Fotos von der Messkampagne im Kernkraftwerk Rheinsberg: Links: Dr. Lösch bei einer Messung mit dem RSL7 im Raum SWA 223, Rechts: mit Strahlungs-Warnschildern gekennzeichnete Rohrleitung im Gang AH 303.

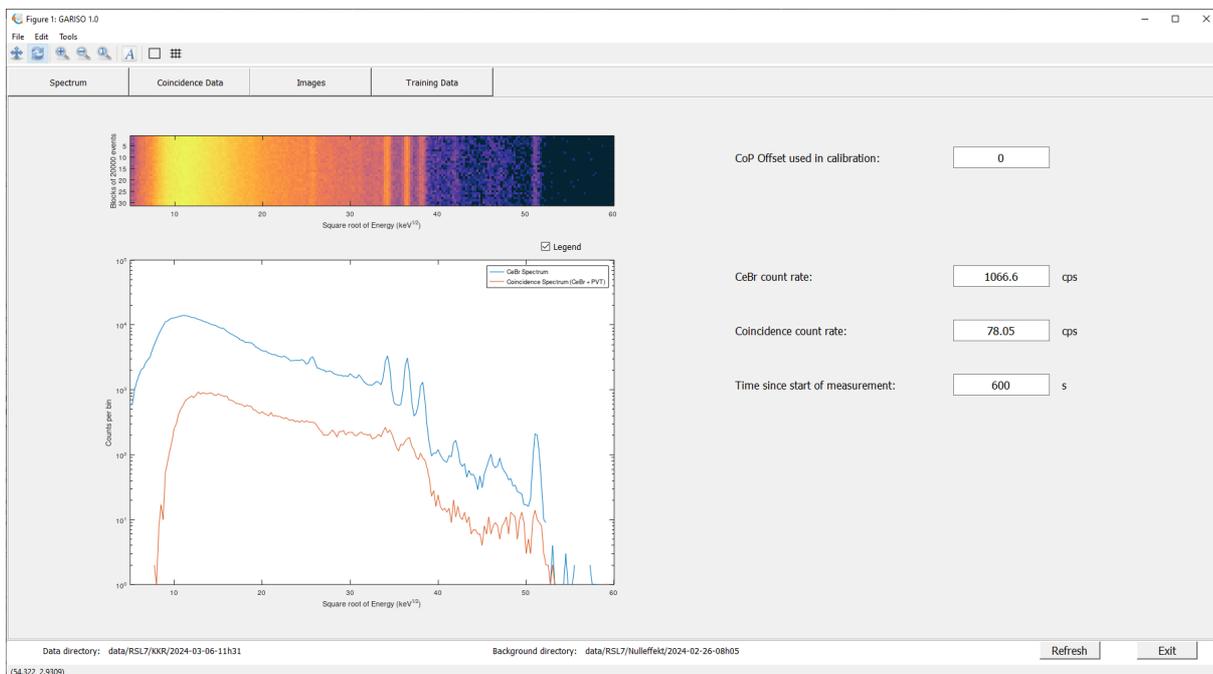


Abb 3. GUI-Screenshot der Spektrumsdaten für die Messung in AH 303 in Rheinsberg (Abb. 2 rechts). Das Cerbromid-Spektrum ist als blaue Kurve; das Koinzidenz-(Energiesummen)-Spektrum als rote Kurve dargestellt. Neben einigen Untergrund-Peaks sind die Peaks von Co-60 und ein kleiner Cs-137 Peak gut zu erkennen. Der obere farbige Streifen zeigt das Cerbromid-Spektrum als Wasserfalldiagramm. Die Messung wurde in 6 m Entfernung zur Kontaminationsstelle aufgenommen (Messzeit 10 min).

Die Benutzung der RSL7 Gammakamera soll anhand der Messung in AH 303 kurz illustriert werden. Das Spektrum in Abb. 3 zeigt ein Co-60 Signal, rechts daneben liegt der K-40 Peak des natürlichen Strahlungsuntergrundes. Das Co-60 Signal ist auch in der 2-dimensionalen Häufigkeitsverteilung der Koinzidenzdaten in Abb. 4 gut zu erkennen. Die Doppelstruktur bei den beiden Co-60 Linien zeigt an, dass die Strahlung aus bestimmten Einfallrichtungen einfällt und nicht gleichverteilt aus allen Richtungen kommt. Für die Auswertung dieser Struktur wurden Koinzidenzereignisse in einem Energiefenster um 1332 keV ausgewählt. Es wird nun ein Regressionsmodell für die Flussdichte am Kamerastandort berechnet. In diesem konkreten Fall

war das Ergebnis, dass die 1332 keV Strahlung primär von einem Hotspot herrührt, dessen Einfallsrichtung in der Tabelle in Abb. 4 in Kugelkoordinaten angegeben ist. Der Hotspot wird auch in einer projektiven Darstellung des Halbraums vor der RSL7 Gammakamera visualisiert. Das Regressionsmodell für die Koinzidenzdaten enthält neben den Hotspots auch einen Untergrundanteil. In dieser Messung wurde der Untergrundanteil zu 35% bestimmt. Weiterhin macht das Modell Angaben über die Flussdichten der Hotspots. In diesem Fall hatte die 1332 keV Strahlungsquelle, deren Einfallsrichtung bei 10° Polarwinkel und 49° Azimutwinkel detektiert wurde, eine Flussdichte von $0,62 \text{ Photonen cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Unter Kenntnis des Abstands zur Kontaminationsstelle (6 m) lässt sich aus dieser Angabe die Aktivität des Hotspots grob abschätzen. Es bedeutet, dass die in Abb. 2 rechts mit Warnschildern gekennzeichnete Stelle eine Co-60 Aktivität in Höhe von ca. 2,8 MBq besitzt. Während unseres Besuchs in Rheinsberg wurde die Dosisleistung an der Rohrleitung mit einer Teleskopsonde gemessen; sie betrug $280 \mu\text{Sv/h}$. Eine genaue Verifizierung der gemessenen Flussdichte ist hiermit allerdings nicht möglich; nach aktuellem Kenntnisstand unserer Arbeiten mit radioaktiven Quellen sind beide Angaben zumindest von gleicher Größenordnung.

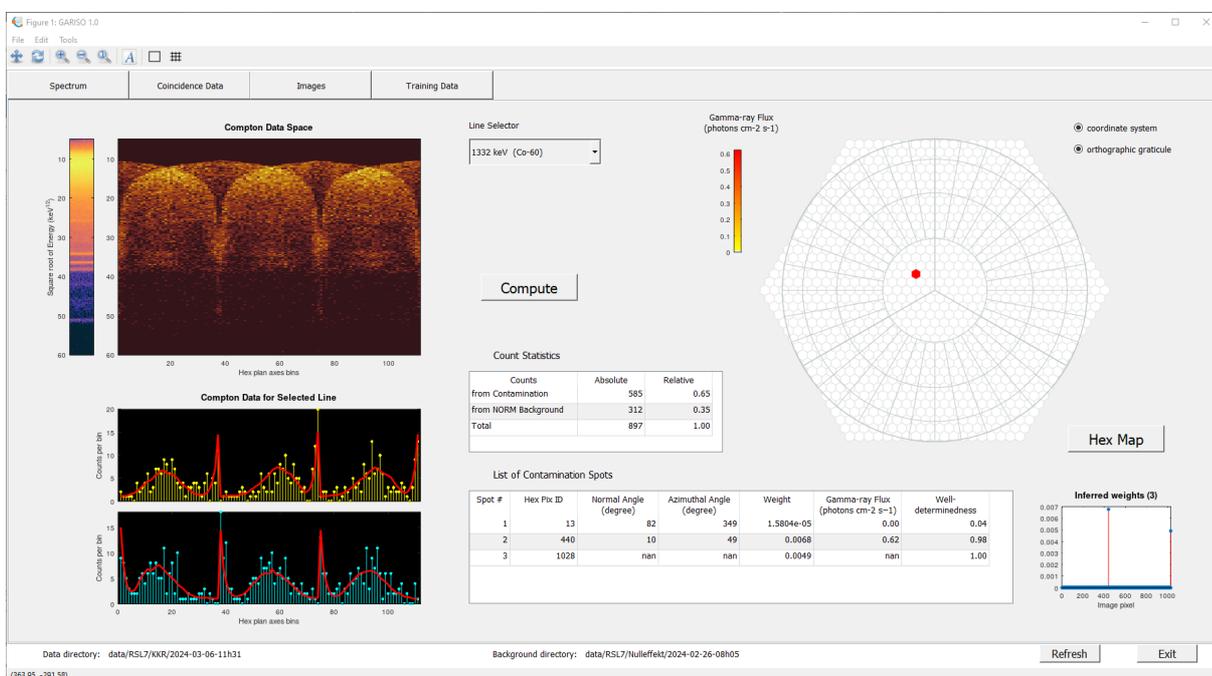


Abb 4. GUI-Screenshot der Koinzidenzdaten für die Messung in AH 303 in Rheinsberg (Abb. 2 rechts). Die Koinzidenzdaten sind als 2-dimensionale Häufigkeitsverteilung dargestellt (Compton Datenraum). Gut zu erkennen ist eine Doppelstruktur bei den beiden Co-60 Linien. Das für die Daten berechnete Regressionsmodell ist mehrfach dargestellt: als rote Linie in den Daten-Histogrammen, als Liste aller Hotspots in der Tabelle und als Kamerabild in orthographischer Projektion.

Die RSL7 Gammakamera entfaltet ihre Stärken, wenn sie dazu benutzt wird, radioaktive Objekte in der Umgebung aufzuspüren und zu lokalisieren, wenn keine Kenntnisse zur radiologischen Situation vorliegen. Es ist ein Gerät für die radiologische Erkundung in unbekanntem Situationen. Es sind auch Abschätzungen über Aktivitäten radioaktiver Objekte möglich; diese weisen jedoch nicht zu vernachlässigende Unsicherheiten auf. Dies ist u.a. auf die beträchtlichen Entfernungen zwischen Kamera und Objekt zurückzuführen, welche für Aktivitätsmessungen ungünstig sind. Solche Aufgaben müssen nach wie vor von In-Situ-Gammaskpektrometern in nahem räumlichem Bezug zu den Objekten wahrgenommen werden.

In **AP 6** organisierte der Projektpartner VKTA einen QGRIS-Projektworkshop für interessierte Gäste aus dem Fachpublikum. Der aus zwei Teilen bestehende Workshop – vormittags Vorträge, nachmittags praktische Übungen – fand am 25. April 2024 am VKTA in Dresden-Rossendorf statt. Wir beteiligten uns an den Vorbereitungen durch Erstellung eines Workshop-Flyers, Ansprache von potenziellen Teilnehmern und der Einladung von Prof. Uwe Oberlack (Universität Mainz) als Gastredner zum Thema „Compton Telescopes – Lessons learned and outlook to COSI and beyond“. Von Hellma Materials nahmen Herr Selle, Frau Dr. Petrak und Herr Hölzer am Workshop teil. Frau Dr. Petrak hielt zwei Vorträge, einen Einführungsvortrag und einen Vortrag zum Funktionsprinzip der Geräte. Die RSL7 und RSL4 Geräte waren beide auf dem Workshop präsent. Die Demonstrationsmessungen mit dem RSL7 (siehe Abb. 5) wurden von Dr. Henry Lösch vorgeführt. Der RSL4 war im Seminar-gebäude aufgestellt und wurde für eine Untergrundmessung während der Kaffeepause genutzt.



Abb 5. Fotos vom QGRIS-Workshop am 25. April 2024 in der Freimessanlage am VKTA.
 Links: Lorenz Kuger hält einen Vortrag zum Thema „Prinzipien der Emissionstomographie“.
 Rechts: Dr. Henry Lösch präsentiert eine Live-Messung mit dem RSL7.

Zusammenarbeit im Projektverbund

Am 24. April 2024 kamen die Projektpartner zum 7. QGRIS Projektmeeting in Dresden-Rossendorf zusammen.

Die Projektpartner haben gemeinschaftlich beschlossen, eine kostenneutrale Projektverlängerung bis zum 31. Dezember 2024 beim Projektträger zu beantragen. Diese wurde mit Bescheid vom 7. Mai 2024 für alle vier Projektpartner erteilt.

Weiterbildung von Projektmitarbeitern

Frau Dr. Petrak nahm am 18. März 2024 am VDI-Spezialtag „Radiologische Charakterisierung von Abfällen“ in Düsseldorf teil. Das Weiterbildungsseminar wurde von Dr. Stefan Thierfeldt, Bereichsleiter Strahlenschutz und Kerntechnik der Brenk Systemplanung GmbH durchgeführt.

Teilnahme am FORKA Statusseminar

Frau Dr. Petrak und Herr Selle besuchten das FORKA Statusseminar am 10. April in Berlin. Frau Petrak hielt den Statusvortrag für das QGRIS-Verbundprojekt. Am 11. April waren Frau Petrak und Herr Selle Teilnehmer der Exkursion zur EWN GmbH in Lubmin. Frau Petrak besichtigte das Zwischenlager Nord (ZLN), Herr Selle die zentrale, aktive Werkstatt (ZAW).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Für die Zeit bis 31. Dezember 2024 ist Folgendes geplant:

Inbetriebnahme des RSL4-Geräts: In bisherigen Arbeiten in AP 4 und 5 lag der Schwerpunkt der experimentellen Untersuchungen auf dem RSL7-Gerät. Nach dem erfolgreichen Aufbau des RSL4-Geräts soll dieses nun ebenfalls in Betrieb genommen werden.

Systemintegration, Bildüberlagerung mit Kamerabild: Unser Ziel ist, die RSL-Geräte mit der Funktionalität auszustatten, die von Anwendern in kerntechnischen Anlagen erwartet wird. Dazu gehört eine visuelle Unterstützung, wie die Gammakamerabilder in konkretem Bezug zu den Räumlichkeiten vor Ort zu interpretieren sind. Bereits begonnene Arbeiten zur Bildüberlagerung mit Weitwinkelkameras und einer praktischen, abnehmbaren Halterung der Weitwinkelkamera vor dem zentralen Detektor im RSL7-Gerät sollen fortgesetzt und abgeschlossen werden. Als Projektziel für den Abschluss des QGRIS-Projekts wird formuliert, die Systemintegration mit einer Weitwinkelkamera zu erreichen.

Auswertung der Messkampagne im KKW Rheinsberg: Die Auswertung der mehr als 30 Messungen von der Kampagne im KKW Rheinsberg soll fortgesetzt und abgeschlossen werden. Dazu gehört eine Weiterentwicklung der Software in Bezug auf das Multi-Nuklid-Imaging. Liegt ein Gemisch aus mehreren Nukliden vor, wie es in Rheinsberg der Fall ist, so beeinflussen sich diese im Auswertalgorithmus untereinander. Unter Berücksichtigung solcher Crosstalk-Effekte zwischen den Nukliden soll eine geeignete Multi-Nuklid Imaging-Technik ausgearbeitet und in der RSL7-Software implementiert werden. Die Ergebnisse des Multi-Nuklid-Imaging werden im Poster für die IEEE-Konferenz in Tampa, Florida vorgestellt werden. Zusätzlich ist geplant, einen zusammenfassenden Bericht zur Messkampagne zu erstellen, der den EWN-Mitarbeitern Dr. Matthias Fischer und Bill Maßlow übergeben wird.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Es wurde ein Summary, d.h. ein kurzer 2-seitiger Bericht im Stil einer Veröffentlichung mit dem Titel „Radiological Characterization of Decommissioned Nuclear Power Plants: A Case Study utilizing a CeBr₃ Compton Camera“ beim diesjährigen IEEE Nuclear Science Symposium in Tampa, Florida eingereicht. Der Beitrag wurde für eine Poster-Präsentation angenommen.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S59431B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: FAU Erlangen-Nürnberg	
Vorhabenbezeichnung: VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie (QGRIS) TP: Bildrekonstruktionsverfahren	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 321.192,00 €
Projektleiter/-in: Prof. Martin Burger	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: martin.burger@uni-hamburg.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 2 Simulation, Modellierung

2.1 Konzeptionierung verschiedener Imaging Techniken (6/2021-11/2021)

2.6 Modell- und Algorithmenentwicklung (8/2021-9/2022)

AP 3 Aufbau Messsysteme

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

AP 4 Labormessungen, Versuchsreihen

4.4 Fertigstellung der Bildrekonstruktions-Software (9/2022-7/2023)

4.5 Datenfusionierung mit Laserscanner Pointcloud (2/2023-10/2024)

AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen

5.3 Optimierung System, Messprozeduren, Software (8/23-2/24) (6/24-8/24)

AP 6 Workshop & Dokumentation

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

6.3 Planung, Durchführung, Auswertung Workshop (12/2023-5/2024)

6.4 Abschlussbericht (11/2024-12/2024)

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

Die Arbeiten im ersten Halbjahr 2024 waren konzentriert auf die Anfertigung der finalen Version der mathematisch-theoretischen Implementierungen im Projekt. Das umfasste Dokumentation der relevanten Code-Dateien und Qualitätssicherung/Reproduzierbarkeit für zukünftige Projekte (zu **AP 4.4** und **AP 5.3**)

Im Rahmen des Projektworkshops am 25.04. in Dresden-Rossendorf wurde eine Präsentation der mathematischen Aspekte in der Compton-Kamera Rekonstruktion für potentielle Anwender angefertigt. (**AP 6.3**)

Im Hinblick auf potentielle Weiterentwicklungen hat sich vor allem der Bedarf nach mehr Flexibilität in der Messgeometrie herauskristallisiert. Im aktuellen Messablauf muss das Vorwärtsmodell für die Rekonstruktion bei Änderung der Geometrie neu berechnet werden. Ansätze mittels Monte-Carlo-Simulationen des Vorwärtsmodells, die in QGRIS bereits eine Weile bei Hellma verfolgt wurden, sind in einer realen Mess-Situation zu zeitaufwändig. Der approximativ-analytische Ansatz, der aktuell die Grundlage für den größten Teil der an der FAU entwickelten Rekonstruktions-Software bildet, kann schneller ausgewertet werden. Dieser ist aber mit den aktuellen Detektor-Geometrien nach während der Projektlaufzeit erlangten Erkenntnissen zu ungenau in realen Mess-Situationen, abhängig von Faktoren wie der Messgeometrie und Untergrundstrahlung. Aktuell wird im Projektrahmen von Michelle Bruch und Lorenz Kuger evaluiert, ob simplifizierte Monte-Carlo-Simulationsdaten als Trainingsdaten erlauben könnten das Vorwärtsmodell für beliebige Geometrien zu lernen.

Diese Arbeiten zielen auf einen ähnlichen Aspekt ab wie die ursprünglich in QGRIS geplante Projektion der Messungen auf geeignete Laserscanner-Punktwolkendaten (sind also verwandt zum ursprünglichen **AP 4.5**), sind aber zunächst auf eine einzelne Kameraposition beschränkt. Dafür kann die Messoberfläche explizit im dreidimensionalen Raum parametrisiert werden, anstatt nur eine zweidimensionale Rekonstruktion auf Punktwolkendaten zu projizieren – was nicht notwendigerweise eine Fernfeldapproximation verlangt und somit eine höhere Winkelgenauigkeit verspricht.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Arbeiten zur verbesserten Modellierung in sich ändernden Geometrien werden fortgeführt, um den aktuellen Stand der Ergebnisse und Implementierungen zu fixierten Messgeometrien bis zum Projektende zu erweitern.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Bewertung & Dokumentation (**AP 6.1**) wird Michelle Bruch eine Masterarbeit zur Möglichkeit gelernter Vorwärtsmodelle anfertigen.

Mathematisch-theoretische Erkenntnisse aus der gesamten Projektlaufzeit werden im Rahmen der Promotion von Lorenz Kuger im Laufe des Halbjahres 02/2024 in einer Dissertation publiziert. Der Abschlussbericht (**AP 6.4**) wird ebenfalls im zweiten Halbjahr 2024 fertiggestellt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Konferenzteilnahmen

Lorenz Kuger nahm als Teilnehmer an den folgenden Konferenzen teil:

- 1) SIAM Conference on Uncertainty Quantification, 27.02. – 01.03.2024, Trieste, Italien
Vortrag: *“Proximal Langevin Sampling With Inexact Proximal Mapping”*
- 2) SIAM Conference on Imaging Sciences, 28.05. – 31.05.2024, Atlanta, GA, USA
Lorenz Kuger und Martin Burger organisierten gemeinsam das Minisymposium *„SDE- and PDE-based Sampling Methods for Imaging Inverse Problems“*.
Vortrag Lorenz Kuger: *“Primal-Dual Dynamics for Langevin Sampling”*

Veröffentlichungen

- 1) Neuer Preprint zu Sampling-Verfahren mit Anwendungen in Emissions-Bildgebung:
Martin Burger, Matthias J. Ehrhardt, Lorenz Kuger, Lukas Weigand, 2024. Coupling Analysis of the Asymptotic Behaviour of a Primal-Dual Langevin Algorithm. arXiv:2405.18098
- 2) Der 2023 als Preprint veröffentlichte Artikel
Matthias J. Ehrhardt, Lorenz Kuger, Carola-Bibiane Schönlieb, 2024. Proximal Langevin Sampling With Inexact Proximal Mapping. arXiv:2306.17737
wurde zur Veröffentlichung akzeptiert und erscheint demnächst in *SIAM Journal on Imaging Sciences*.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9431C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Hochschule Zittau/Görlitz	
Vorhabenbezeichnung: VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie (QGRIS) TP: Experimentelle Untersuchungen und Simulation	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 410.529,18 € (inkl. PP)
Projektleiter/-in: Prof. Thomas Schönmath	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: T.Schoenmuth@hszg.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- AP 1 Experimente mit Strahlungsdetektoren, Entwurf des Positioniersystems, Planung der Versuchsreihen
- AP 2 Detektor-Simulation mit FLUKA, Bereitstellung der Simulationsdaten für Projektpartner, Aufbereitung der Messdaten aus AP1
- AP 3 Anfertigung des Positioniersystems, Vorbereitung der Tests für AP4
- AP 4 Labormessungen, Versuchsreihen
- AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen
- AP 6 Workshop & Dokumentation

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

Zu AP 2

Simulation der Detektionssymmetrie des RSL7

Es wurden Simulationen für eine Punktquelle Cs-137 mit einer angenommenen Installation 100 cm vor und 100 cm hinter der Kamera durchgeführt. Bei gleichen Rekonstruktionsbedingungen

konnte die örtliche Lage (50 cm seitlicher Mittenabstand, 100 cm axialer Mittenabstand) gut ermittelt werden. Es konnte jedoch nicht unterschieden werden, ob sich die Quelle im Halbraum vor oder hinter der Kamera befindet. Eine breitere Intensitätsverteilung zeigte sich für die Rekonstruktion „hinter der Kamera“. Dies kommt durch die Aluminiumgehäuse der Detektoren zustande, die nach hinten verlängert sind, was zusätzliche Streueignisse hervorruft. Mit einer weiteren Simulation unter Annahme verkürzter Gehäuse, so dass nur der Szintillationskristall von Aluminium umgeben ist, wurde eine der Quellposition im vorderen Halbraum entsprechende, schmalere Verteilung berechnet.

Zu AP 4

Messungen zur Aktivitätsverteilung an Flächenstrahlern mit RadEye B20-ER

Vom Projektpartner VKTA wurden Flächen- und Rollenstrahler präpariert und ins Strahlenlabor der HSZG geliefert mit jeweils vier Einzelnukliden (Cs-137, Co-60, Ba-133, Eu-152).

Messungen hinsichtlich der prozentualen Flächenverteilung der Aktivitäten erfolgten mit dem RadEye B20-ER für alle Flächenstrahler. Dabei kamen verschiedene Rasteranordnungen zum Einsatz. *Abbildung 2* zeigt beispielhaft die ermittelte prozentuale Verteilung der Aktivität mit einer Rasteranordnung an 6 Messpositionen. Die Flächenverteilung kann als gut präpariert eingeschätzt werden, mit leicht stärkerer Tendenz zu den Rasterpositionen E8 und D8.

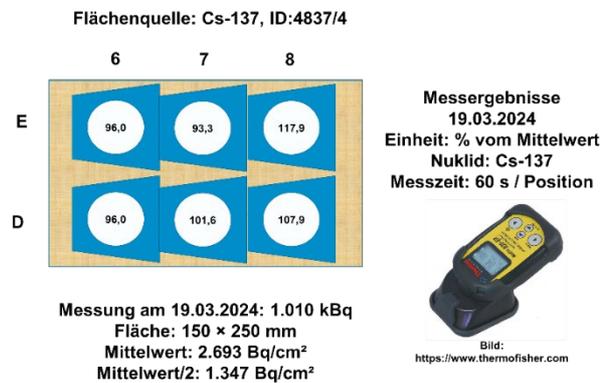


Abbildung 2: Messergebnisse zur prozentualen Aktivitätsverteilung auf einer Cs-137 Flächenquelle

Messungen mit Verwendung von Flächen- und Rollen- (Linien-)strahlern mit RSL7

Bei den Messungen kam in der Anwendersoftware des RSL7 der Rekonstruktionsalgorithmus GARISO-V7 (Stand Mai 2024) zum Einsatz. Eine Nulleffektmessung im Strahlenlabor zeigte den bekannten Ka-40 Peak bei 1462 keV. Damit konnte im Weiteren von einer guten bestehenden Energiekalibrierung ausgegangen werden. Die Messungen zu Flächenquellen erfolgten mit vertikaler und horizontaler Anordnung der Flächenquellen in den Abständen von 50, 100 und 200 cm zwischen Quelle und RSL7 (siehe Abbildung 3).

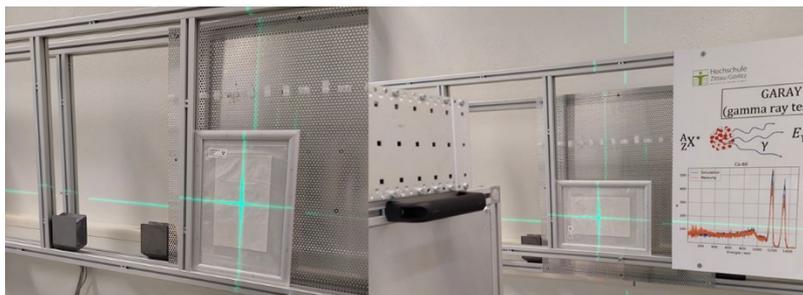


Abbildung 3: Beispiele zur Positionierung von Flächenquellen vertikal (links) und horizontal (rechts) am Versuchsstand GARAY TF für die Messungen mit RSL7

Am Beispiel der Messungen mit der Flächenquelle Cs-137, ID 4837/4 sollen exemplarisch Ergebnisse gezeigt werden. Abbildung 4 zeigt das ermittelte γ -Spektrum und das Rekonstruktionsergebnis bei einem Messabstand von 200 cm. Gut zu erkennen sind Cs-137 Peak und Ka-40 Peak. Die leichte Verschiebung zu etwas niedrigeren Energien kann mit der erhöhten Temperatur von 26,4 °C begründet werden. Die Flächenquelle wird bei diesem Messabstand von 200 cm zwischen Quelle und RSL7 eher als Punktquelle rekonstruiert.

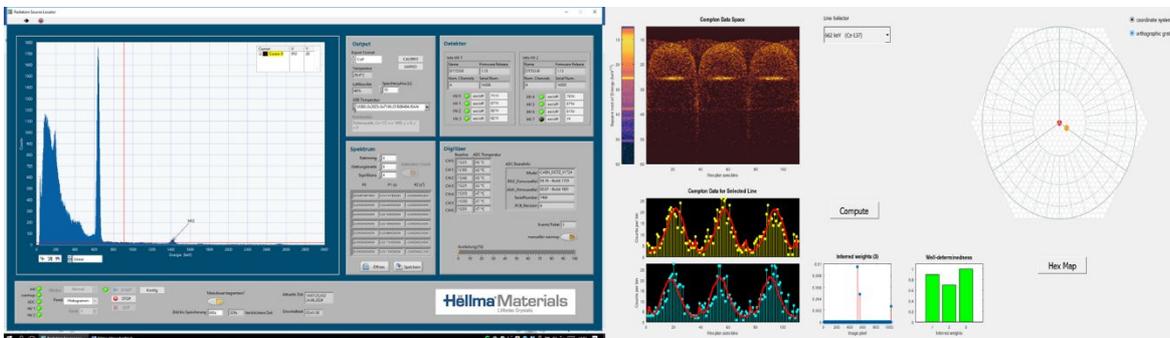


Abbildung 4: Spektrum (links) und Lagerekonstruktion (rechts) der vertikalen Cs-137 Flächenquelle bei einem Messabstand von 200 cm zwischen Flächenquelle und RSL7

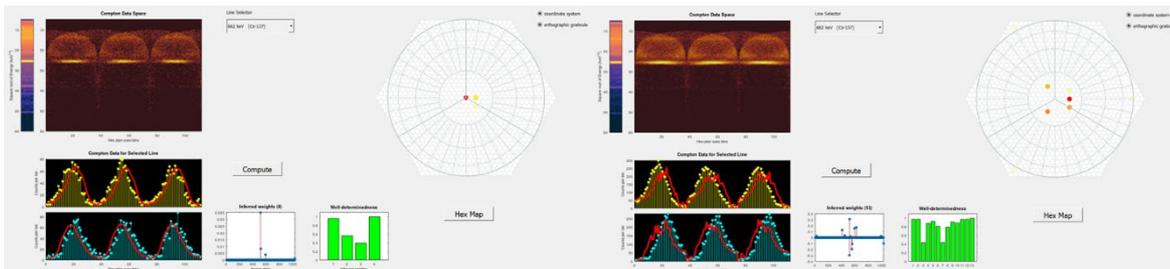


Abbildung 5: Lagerekonstruktionen zur vertikalen Cs-137 Flächenquelle bei einem Messabstand von 100 cm (links) und 50 cm (rechts) zwischen Flächenquelle und RSL7

In Abbildung 5 wird deutlich, dass bei einem Messabstand von 100 cm eher die Flächenquelle noch als Punktquelle interpretiert wird. Bei einem Messabstand von 50 cm zeigen sich mehrere Pixel in der Hex Map, welche auf die Flächenquelle hinweisen.

Zu AP 5

Die HSZG hat sich an den Test- und Validierungsmessungen während der Messkampagne am im Rückbau befindlichen Kernkraftwerk Rheinsberg (KKR) im März 2024 beteiligt. Besonderheiten im Vergleich zu anderen KKW sind im KKR insbesondere:

- > 30 Jahre außer Betrieb (eine bzw. mehrere Halbwertszeiten von Nukliden vergangen)
- enge Verhältnisse (schwieriger Transport von RSL7 im Kontrollbereich)
- Nutzung als quasi Versuchs-Kraftwerk mit früheren Untersuchungen in heißer Zelle mit Freisetzungen, Transport von Radionukliden, Anlagerungen in hot spots (meist bekannt und gekennzeichnet)

Bekannte Kontaminationen wurden mit RSL7 in verschiedenen Raumbereichen erkannt und geortet. Das betraf auch die Einlagerungen von Abfällen in Fässern. Die wesentlich belasteten Fässer konnten nuklidspezifisch innerhalb von Fassreihen erfolgreich identifiziert werden. Das Prozedere der Ausschleusung des RSL7 aus dem Kontrollbereich verlief erfolgreich. Die Auswertung der Messdaten erfolgt beim Projektpartner VKTA.

Zu AP 6

Es erfolgte die Vorbereitung, Durchführung und Diskussion der Präsentation der Ergebnisse der HSZG zum Projektworkshop im April 2024 beim VKTA Dresden-Rossendorf.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Zu AP 4

Laborexperimente mit dem *RSL7* werden mit den Flächen- und Linienstrahlern abgeschlossen.

Zu AP 6

Im kommenden Berichtszeitraum werden die erzielten Projektergebnisse der HSZG in Form des Abschlussberichts dokumentiert.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt.

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9431D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: VKTA – Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e.V., D-01328 Dresden	
Vorhabenbezeichnung: VP: Radiologische Charakterisierung von kerntechnischen Anlagen und Gebäuden mittels kollimationsfreier, richtungsaufgelöster In-situ-Gammaspektrometrie (QGRIS) TP: Qualifizierung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 235.701,88 €
Projektleiter/-in: Dr. Henry Lösch	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Henry.Loesch@vkta.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 1 Planung und Entwurf

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

AP 2 Simulation, Modellierung

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

AP 5 Test & Validierung unter realen Einsatzbedingungen

- 5.2 Validierungsmessungen am VKTA (7/2023-2/2024)
- 5.3 Optimierung System, Messprozeduren, Software (9/2023-2/2024)
- 5.4 Gegenüberstellung mit rückbauerproben Verfahren (9/2023-2/2024)

AP 6 Workshop & Dokumentation

- 6.1 Wissenschaftliche Bewertung & Dokumentation (1/2024-5/2024)
- 6.2 Qualifizierung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen (1/2024-5/2024)
- 6.3 Planung, Durchführung, Auswertung Workshop (12/2023-4/2024)
- 6.4 Abschlussbericht (3/2024-5/2024)

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

AP 5.2 Validierungsmessungen am VKTA

In Vorbereitung des geplanten Workshops erfolgten im April 2024 weitere Testmessungen am VKTA bezüglich der Differenzierung einzelner Punktquellen. Dabei wurden verschiedenen Punktquellen im Raum verteilt und mit Hilfe der Rekonstruktionssoftware ausgewertet (Abbildung 1). Dabei erfolgte die Auswertung zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Dabei zeigte sich, dass Quellen bei einem Mindestabstand von 1,5 m im Abstand von 3 m zur Kamera sehr gut voneinander trennbar sind.

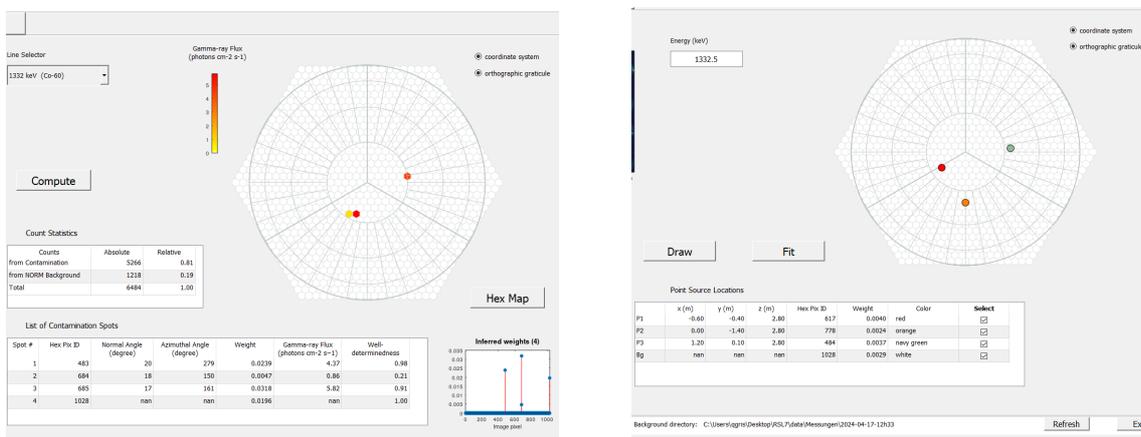


Abbildung 1: oben, Positionierung drei verschiedener Co-60 Quellen, unten links, Rekonstruktion der Quellen nach einer Messzeit von 10 min, unten rechts, Darstellung der aufgebauten Quellen im Rekonstruktionsbild.

AP 5.2 Messung im Kernkraftwerk Rheinsberg

Im März dieses Jahres erfolgte eine einwöchige Messkampagne im Kernkraftwerk Rheinsberg. Dabei wurden verschiedene Räume mit bekannten Kontaminationsstellen untersucht. Die Ergebnisse der Messkampagne zeigen eine gute Wiederfindungsrate der bekannten Kontaminationsstellen, wobei die Auswertung ohne optische Kamera stattfand. Auch im Bereich großer Entfernungen > 8 m konnten bei kurzen Messzeiten von 10 min gute Ergebnisse erzielt werden. Die untersuchten Kontaminationsstellen wiesen dabei Ortsdosisleistungen im Bereich von 5 – 1000 $\mu\text{Sv/h}$ auf. Im Laufe der Messkampagne zeigten sich noch einige Schwächen bezüglich des Handlings der gesamten Konstruktion, gerade in engen Bereichen.



Abbildung 2: In Folie verpackte Kamera während einer Messung

AP 6.3 Planung, Durchführung, Auswertung Workshop

Am 25.04.2024 fand der geplante Anwenderworkshop mit 20 Teilnehmern am VKTA in Dresden statt. Während des Workshops konnten sich potentielle Bedarfsträger bei verschiedenen Messversuchen ein Bild über den aktuellen Stand der Compton-Kamera machen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

5. Bezug zu anderen Vorhaben

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

Berichtszeitraum: 01.04.2024 bis 30.06.2024	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 (EBENE) 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 Anlagenräume 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

AP 1: Die Modelle aus EMPRADO wurden vom jetzigen Projektmitarbeiter übernommen und es erfolgte eine intensive Analyse und Einarbeitung in die Geometriedarstellung des Inputs. Erste Testrechnungen wurden durchgeführt. Die Entwicklung eines SERPENT-Modells wurde begonnen.

AP 3: Die Methoden für die Analyse der aktivierten Materialien, wie die radiochemische Trennung für ^{63}Ni , ^{55}Fe und ^{60}Co und die oxidative Verbrennung mit anschließender Aktivitätsbestimmung mittels LSC für ^3H und ^{14}C wurden weiterentwickelt. Der nichtaktivierte Betonkern aus dem Referenzkraftwerk ist geliefert worden.

4. Geplante Weiterarbeiten

AP 1: Durchführung es Vergleichs mit den gemessenen Materialproben. Bestimmung der Verhältnisse der Quellbeiträge außerhalb des Tragschildes und systematische Modellerweiterung.

AP 3: Die Validierung und Weiterentwicklung der radiochemischen Analysemethoden wird fortgesetzt. Die Anwendung weiterer Methoden, wie z.B. Beschleuniger-Massenspektrometrie (AMS) zur quantitativen Bestimmung von ^{41}Ca und ^{36}Cl , soll getestet werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.04.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9447B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden	
Vorhabenbezeichnung: 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 Neutronenfluenzrechnungen und Experimenten	
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 essentiell 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 Fluenz der Neutronen der am Institut für Kern- und Teilchenphysik vorhandenen Neutronenquellen bestimmt. Dies wird mittels Aktivierungsanalyse am IKTP geschehen. Zur absoluten Aktivitätsmessung wurde ein Koinzidenzsetup entwickelt. Mit der Beta-Gamma-Koinzidenztechnik ist eine absolute Aktivitätsbestimmung sehr gut möglich, da Detektoreffizienzen eliminiert werden. Erste Messungen mit dem neuen Setup haben stattgefunden, die zeigen, dass diese Technik zum Erfolg führen wird. Für die Messung von emittierten Beta-Teilchen kommt ein organischer Feststoffsintillator zum Einsatz. Hierdurch vereinfacht sich die Handhabung im Vergleich zu Gas- oder Flüssigsintillatoren. Spezielle Geometrie und Umhüllung des Detektors machen hocheffiziente Messungen dabei möglich.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die geplanten Aktivierungsanalysen zur Bestimmung der Fluenz der Neutronen der am Institut für Kern- und Teilchenphysik vorhandenen Neutronenquelle werden durchgeführt. (AP 5.1)

Außerdem wird eine Simulation der Quelle erstellt um diese weiter zu charakterisieren. (AP 5.2).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

KOBEKA, EMPRADO

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bisher sind keine Berichte oder Veröffentlichungen entstanden.

Berichtszeitraum: 01.04.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9447C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: PreussenElektra GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Experimentell gestützte Berechnungen von Neutronenfeldern und den daraus resultierenden Aktivitäten in reaktorfernen Räumen (EBENE) 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 Neutronenflussrechnungen 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 werden 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

AP 2: Im April 2024 fand eine Vorortbegehung der Anlage statt, wobei die möglichen Probenorte fixiert wurden. Grundlage der Ortswahl bildet dabei die Annahme, dass mögliche Aktivierungen außerhalb des Tragschildes durch Diffusion von Neutronen durch den Luftspalt bei den Durchführungen der Hauptumwälzleitungen des ersten Kreislaufes verursacht werden. So wurden Probenorte direkt an den Durchführungen und an den Wänden gegenüber fixiert. Sowohl Proben auf Höhe des Reaktorkerns als auch eine Kernbohrung durch das gesamte Tragschild wurden als realisierbar eingeschätzt. Insgesamt wurden 30 Probenorte lokalisiert. Von diese sind zwei als Kernbohrung vorgesehen (jeweils eine von den zwei Betonsorten, die verbaut wurden). Die anderen können sowohl als Pulver als auch Bohrkern geliefert werden, wobei darauf geachtet werden muss, dass die Proben pro gebohrten Zentimeter separat aufgefangen und verpackt werden muss.

4. Geplante Weiterarbeit

AP 2: Probenentnahme in der Anlage, wie bei der Begehung im April 2024 festgelegt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9423B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Sondervermögen Großforschung beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	
Vorhabenbezeichnung: VP: Nass-Siebung und Magnetseparation von Korngemischen zur Minimierung von Sekundärabfällen im Rückbau kerntechnischer Anlagen (NaMaSK) TP: Durchführung von Versuchen mit radioaktivem Probenmaterial	
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2021 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 422.907,96 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Horst Geckeis	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: horst.geckeis@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

Ein Verfahren zur Zerlegung eines Reaktordruckbehälters ist das Wasser-Abrasiv-Suspension-

Schneidverfahren (WASS), bei dem das Material mit einem speziellen Hochdruckwasserstrahl, der ein mineralisches Abrasiv enthält, geschnitten wird. Dieses Verfahren bietet viele technische Vorteile, hat aber den Nachteil zusätzlichen beträchtlichen Sekundärabfalls. Beim WASS-Schnitt von Stahlkomponenten im Rückbau kerntechnischer Anlagen entsteht ein Abfallgemisch aus inaktiven Abrasivpartikeln und radioaktivem Schnittfugenmaterial. Ziel des Vorhabens ist es, das aus WASS-Schnitten stammende Abfallgemisch (Suspension aus Wasser mit inaktiven Abrasivpartikeln und radioaktiven Stahlpartikeln) so zu trennen, dass der Sekundärabfall maßgeblich reduziert werden kann. Das Abfallgemisch wird zunächst gesiebt, dann die feine Fraktion abfiltriert und die im Sieb zurückgehaltene grobe Fraktion mit einem Magnetfilter nachbehandelt (MaSK-Verfahren). Durch den Siebvorgang und die magnetische Abtrennung der Stahlpartikel entsteht ein selektiertes Abrasiv, das der WASS-Anlage für einen erneuten Schnitt wieder zugeführt werden kann. So soll sich der Sekundärabfall um 50-75% reduzieren. Um dieses Verfahren auch für ferritische Stähle anwenden zu können, werden Korrosionsinhibitoren untersucht, um die Bildung von Korrosionsprodukten zu verhindern. Zur Erprobung des MaSK-Verfahrens werden WASS-Schnitte mit ausgewählten nicht radioaktiven austenitischen und ferritischen Stählen durchgeführt. Die einzelnen Prozessschritte, Siebung, Filtration und Magnetseparation sollen im Rahmen des Projektes verbessert und bewertet werden. Dann werden die Prozessschritte gemeinsam zur Abtrennung von Korngemischen durchgeführt und es wird ermittelt, welche Wiederverwendungsquote erreicht werden kann. Alle Arbeiten werden gemeinsam von den Verbundpartnern des KIT durchgeführt, wobei die Federführung bei den chemischen Analysen, der Oberflächenanalytik und der Korrosionsinhibition beim INE liegt. Zudem sind Versuche mit radioaktiven Proben im Kontrollbereich des INE vorgesehen.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

AP 1: Untersuchungen zur Verwendung von Korrosionsinhibitoren bei ferritischen Stählen

Im ersten Halbjahr 2024 konzentrierte sich AP1 des NaMaSK-Projekts auf erweiterte Tests zu Untersuchungen mit einer Quarzkristall-Mikrowaage, um die Oberflächenbelegung der Inhibitoren auf einer Eisenoberfläche zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde ein eisenbeschichteter Schwingquarz verwendet, dessen Resonanzfrequenz sich mit der Masse des adsorbierten Inhibitors ändert. Ziel ist es Einblicke in den Mechanismus der Adsorption und dessen Kinetik zu gewinnen. Bei den ersten bislang durchgeführten Experimenten wurde für die Massenbelegung des am Sensor haftenden Inhibitors ein Wert zwischen 112 und 335 ng/cm² ermittelt. Weitere Experimente werden in der zweiten Jahreshälfte mit neuen Quarzkristallen mit Eisenbeschichtung fortgeführt, so dass dann die Reproduzierbarkeit der bisher erzielten Ergebnisse für eine abschließende Interpretation überprüft werden kann.

Untersuchungen zur Oberflächencharakterisierung des in die WASS-Schneidsuspension von ANT Lübeck getauchte Stahlcoupons zeigten, dass die Stahloberfläche auch nach 18 Monaten noch durch die Adsorption des Inhibitors an der Metalloberfläche vor Korrosion geschützt ist. Die vom Hersteller angegebene Eigenschaft des Inhibitors bzgl. biologischer Abbaubarkeit zeigen auch eigene XPS- und SEM-EDX-Untersuchungen. Änderungen im Spektrum der N 1s Elementlinie (XPS) und der Nachweis von Bakterien mittels SEM-EDX belegen mikrobielle Abbaureaktionen bereits während der Experimente.

Weiterhin wurden die 2023 begonnenen Bestrahlungsversuche fortgeführt, um die Wirkung ionisierender Strahlung auf die Inhibitionseigenschaften der ausgewählten Korrosionsinhibitoren detailliert zu untersuchen. In der abgeschirmten Boxenlinie des INE diente ein Stück einer neutronenaktivierten Feder aus einem Reaktor als Co-60-Strahlungsquelle. Um die Versuchsbedingungen zu verbessern, wurde in diesem Jahr zunächst eine Vorrichtung geplant und gebaut, die es erlaubt, Versuche mit reproduzierbaren geometrischen Bestrahlungsbedingungen mit der oben erwähnten neutronenaktivierten Feder als Strahlungsquelle durchzuführen.

Es wurde auch ein MOX-Brennstab-Segment für die Bestrahlungsvorgänge eingesetzt und damit systematische Bestrahlungsversuche bei unterschiedlichen Dosen mit ausgewählten Korrosionsinhibitoren durchgeführt.

Die mit bis zu 350 Gy bestrahlten Inhibitorlösungen erwiesen sich als stabil gegenüber Strahlungseinfluss. NMR-Messungen haben gezeigt, dass sich nach der Bestrahlung keine neuen radiolytisch bildbaren Spezies nachweisen lassen. Bei der Oberflächenanalyse der in die Inhibitoren getauchten und in-situ bestrahlten Stahlproben zeigte sich eine zusätzliche Linie in den XPS-Spektren, die auf eine Strahlenschädigung hindeutet. Diese neue Linie weist auf für CN- oder NH₃-Bindungen charakteristische niedrigere Bindungsenergien hin. Ein Grund kann die höhere Photoelektronenausbeute an der Stahloberfläche und dadurch eine höhere Schädigungsrate adsorbierter Inhibitormoleküle im Vergleich zu Inhibitormolekülen im Lösungsvolumen sein. Die Menge der adsorbierten Inhibitormoleküle ist sehr klein im Verhältnis zu den Inhibitormolekülen in der Lösung. Nach Bestrahlung von Stahlproben in wässriger Lösung mit Inhibitoren wurde mit SEM-EDX keine Korrosion der Stahloberflächen beobachtet.

Die umfangreichen Experimente gaben somit Aufschluss über die Strahlungsresistenz, das Verhalten und damit die Wirksamkeit der Inhibitoren in Gegenwart ionisierender Strahlung.

Um die umfangreichen Experimente auch im Kontrollbereich auswerten zu können, wurde eigens ein elektrochemischer Messplatz im Kontrollbereich ausgewiesen und aufgebaut. So können für bestrahlte Proben nun auch elektrochemische Analysen des Inhibitorverhaltens direkt im Kontrollbereich nach Entnahme der Proben aus der Bestrahlungsvorrichtung durchgeführt werden.

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

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

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu den Arbeitspaketen)

AP 1: Untersuchungen zur Verwendung von Korrosionsinhibitoren bei ferritischen Stählen

In der zweiten Jahreshälfte 2024 werden auch Inhibitor-Bestrahlungsexperimente bis in den kGy-Bereich (als Grenzfall für verschiedene erwartete Dosen von realen RDB-Stählen während der Stilllegung) abgeschlossen. Nach der Bestrahlung durchgeführte Analysen der bestrahlten Inhibitoren, elektrochemische Messungen und die Oberflächencharakterisierung der in den Experimenten verwendeten Stahlproben werden weitere Einblicke in die Auswirkungen ionisierender Strahlung auf die Inhibitoreigenschaften liefern. Hierbei wird auch der neu eingerichtete Messplatz im Kontrollbereich für elektrochemische Analysen eingesetzt.

Es werden elektrochemische Messungen mit einer Quarzkristall-Mikrowaage an unbestrahlten und bestrahlten Inhibitorlösungen zusammen mit anderen oberflächenempfindlichen Analyseverfahren wie der Ellipsometrie wiederholt, um das Adsorptionsverhalten der Inhibitoren eingehend zu bestimmen.

Das Projekt NaMaSK am INE wird mit dem Jahr 2024 abgeschlossen. Während dieses Zeitraums sollen alle Experimente abgeschlossen werden, gefolgt von der Abfassung der Dissertation von Justice Nwade bzw. Veröffentlichungen.

AP 3: Verbesserung der MaSK-Anlage

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

AP 4: Radioaktive Korngemische konnten leider nicht wie ursprünglich vorgesehen von ORANO im Projektzeitraum zur Verfügung gestellt werden. Daher konnten keine Versuche mit radioaktiven Korngemischen realisiert werden.

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

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 (C14-Recycling) TP: Weiterentwicklung und Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Fraktionierung des Anodengases	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 bis 30.09.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 957.340,29 €
Projektleiter/-in: Dipl.-Chem. H.–J. Friedrich	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: hans-juergen.friedrich@ikts.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

AP010: Das dritte Verbundmeeting wurde im April 2024 durchgeführt. Dabei wurden die nächsten Bearbeitungsschritte abgestimmt.

- AP100: Die Erprobungen wurden mit unterschiedlichen Parametersätzen fortgesetzt.
- AP200: Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten zur Optimierung fortgesetzt. Dabei konnten neue Erkenntnisse zur zeitlichen Dynamik der Intermediatbildung und zur Gasfreisetzung während des elektrochemischen Abbaus von relevanten chemischen Verbindungen gewonnen werden. Das Maximum der Freisetzung der Freisetzung von Gasmolekülen der schwereren Isotope erfolgt dabei wie angenommen zeitlich versetzt zum leichteren Isotop. Höhere Stromdichten der Oxidation begünstigen diesen Effekt bei den bisher untersuchten Verbindungen. Die Art des Substrats und der verwendeten Elektrolytlösung üben starken Einfluss auf die Zusammensetzung des Anodengases auf, wobei diese charakteristischen zeitlichen Mustern folgt. Als Intermediate des Abbaus konnten vor allem Carbonsäuren identifiziert werden. Es sind teilweise auch einige Vol-% CO im Anodengas nachweisbar, insbesondere bei der Oxidation von Methanol. Dies erfordert eine zusätzliche Anpassung der Gasbehandlungsstrecken. Ozon und organische Dämpfe (strip-Effekt) spielen dagegen keine Rolle.
- AP300: Mit der Bearbeitung konnte wegen fehlender Zählrohre noch nicht begonnen werden.
- AP400: Bis auf die Gaszählrohre für das C-14-Monitoring im Anodengas konnten die Ausrüstungen vollständig beschafft und alle Nachauftragnehmerleistungen beauftragt werden. Die Anlage ist im Aufbau. Die Komplettierung verzögert sich allerdings. Für die C-14-Analytik in den Absorbern wurde ein Durchfluss-LSC-Detektor beschafft, der zusätzlich in die Anlage eingebunden werden und die bisherige manuelle Beprobung ersetzen soll.
- AP500: Es erfolgten weitere methodische Arbeiten zur Verbesserung der Nachweisgrenzen.
- AP600: Im Berichtszeitraum waren hierzu keine Arbeiten vorgesehen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- AP010: Die Bearbeitung wird planmäßig fortgesetzt. Das nächste Verbundmeeting ist im Herbst 2024 geplant.
- AP100: Die Untersuchungen werden fortgesetzt.
- AP200: Die Untersuchungen werden schrittweise auf weitere relevante chemische Verbindungen ausgedehnt.
- AP300: Die experimentelle Bearbeitung wird im 2. Halbjahr 2024 begonnen.
- AP400: Die Bearbeitung wird fortgesetzt. Die Pilotanlage soll zum Ende des dritten Quartals 2024 für erste Erprobungen zur Verfügung stehen.
- AP500: Die methodischen Entwicklungsarbeiten werden fortgesetzt.
- AP6: Die Bearbeitung erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Die bisherigen Projektergebnisse wurden zum Statusmeeting des BMBF-Förderprogramms FORKA im April in Berlin präsentiert.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 – 30.06.2024	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 (C14-Recycling) TP: Weiterentwicklung des Verfahrens zur totzeitarmen C14-Bestimmg. mittels Flüssigszintillation und Untersuchung zur Freimessung von C14-Rückständen nach elektrochem. Behandlung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 – 30.09.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 179.459,84 €
Projektleiter/-in: Dr. Henry Lösch	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: Henry.Loesch@vkta.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

AP 100 Vorbereitende Arbeiten

AP 120 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 ErgebnisseAP 320 Erprobung/Weiterentwicklung totzeitarme C-14-Messung

Vorangegangen erfolgten Messungen an einer C-14 Quelle mit einer Aktivität von etwa 400 Bq (aktive Fläche, Gesamtaktivität 10.000 Bq). Es wurde eine Zählrate von etwa 0,03 counts/s erreicht (Abbildung 1 links). Weiterhin wurde eine C-14 Quelle aus der Landessammelstelle Sachsen mit demselben Messaufbau vermessen. Die Aktivität der Quelle lag bei etwa $9,46 \cdot 10^6$ Bq (aktive Fläche, Gesamtaktivität $3,7 \cdot 10^7$ Bq). Hier konnte eine Zählrate von 8,3 counts/s erreicht werden (Abbildung 1 rechts). Dieser Versuch zeigt, dass auch bei Aktivitäten nahe der FG von C-14 eine Messung möglich ist, welcher für die Entscheidung des Entsorgungsweges nach der Elektrolyse anwendbar ist.

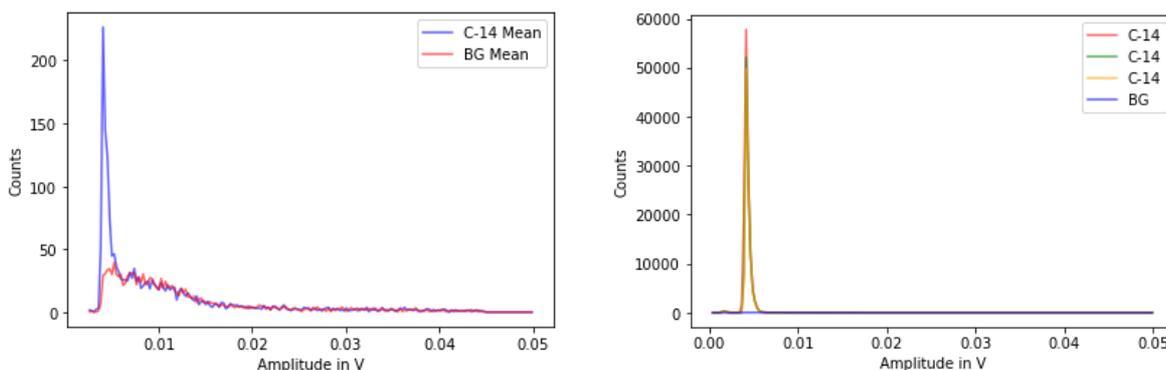


Abbildung 1: links, Messung C-14 Quelle mit 10 kBq, rechts, Messung C-14 Quelle mit 3,7 MBq.

Weiterhin erfolgten Arbeiten zur Auswertung der Szintillationsimpulse und zur direkten Ableitung wichtiger Parameter (bspw. Amplitude, Lifetime, Peakfläche, ...) aus dem Puls. Dafür wurden verschiedene Python-Skripte erstellt. Aktuell läuft die Auswertung offline d.h. nach erfolgter Messung über einen gewissen Zeitraum.

In Absprache mit dem Projektpartner IUT wurde eine strömungsoptimierte Variante der Messapparatur für die Gasstrommessung entwickelt (Abbildung 2). Die Anordnung verfügt wieder über die 6 mm Swagelok-Anschlüsse für die einfache Kopplung in ein bestehendes System.



Abbildung 6: Neukonstruierte Testanordnung mit Swagelok-Anschlüssen und Detektoranordnung für optimierte Messung im Gastrom.

4. Geplante Weiterarbeit

Fortführung der oben genannten AP.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine bekannt

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 (C14-Recycling) TP: Piloterprobung der elektrochemischen Totaloxidation mit Isotopentrennung zur Rückgewinnung von C-14	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 bis 30.09.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 148.838,38 €
Projektleiter/-in: Kirsten Guthmann-Scholz	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: k.guthmann-scholz@iut-berlin.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Flüssige organische oder gemischt-wässrige C-14-Abfälle sind nicht endlagerfähig und können daher bisher nur verbrannt werden. Die Kapazitäten dafür sind begrenzt. Dies ist jedoch nicht für alle Abfälle dieser Art möglich, so dass ein Entsorgungsproblem entsteht. Die Entsorgung und Zwischenlagerung solcher Abfälle ist daher mit sehr hohen Kosten verbunden.

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

AP100: Vorbereitende Arbeiten

AP200: Optimierung und Weiterentwicklung

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

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

AP500: Konditionierung/Freimessung der Reaktionsprodukte

AP600: Fortschreibung Verwertungskonzept

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

AP100: Das 3 Meeting fand in Berlin am 19.03.2024 im IUT statt. Eine Versuchsmessung im C-14-Gasstrom durch das VKTA im Kontrollbereich des IUT sollte vom 15.07. – 17.07.2024 im IUT stattfinden. Der Termin wurde vom VKTA abgesagt.

AP200 keine

AP300 keine

AP400 keine

AP500 keine

AP600 keine

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP100: Konkretisierung ist erst nach dem Nachweis der Funktion der Gasstrommessung möglich.

AP200

AP300

AP400

AP500

AP600

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9441
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Framatome GmbH	
Vorhabenbezeichnung: Konditionierung von mittelaktiven (ILW) Ionentauscherabfällen aus der Chemischen System Dekontamination	
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2023 bis 31.12.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 10.0162,92 €
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 H1 2024 wurde die Methodenentwicklung und – optimierung (AP2) fortgesetzt, nachdem die Anlage im April 2024 wieder in Betrieb genommen wurde und die entsprechenden Vorhaben „Verbesserung Parameter Monitoring“ und „Einbau eines zusätzlicher passiven Druckabsicherung“ implementiert wurden. Die Optimierungspunkte pH-Arbeitsbereich, Dosierstrategie und Terminierungskriterium wurden entsprechend bearbeitet und abgeschlossen. Beim Terminierungskriterium muss jedoch eingeräumt werden, dass 100%ige Zersetzung der Ionentauscher erst nach über 1 Arbeitstag einsetzt und wirtschaftlich nicht sinnvoll ist. Da mit fortlaufendem Prozess die Zersetzung von organischem Material immer ineffizienter wird (siehe oberes rechtes Spektrum von Abbildung 7), wird ein „zeitiger Abbruch“ der Zersetzung und Start eines neuen Zersetzungsansatzes empfohlen. Die Effizienz der Zersetzung lässt sich relativ zuverlässig am Trend des CO₂-Anteils an der Abluft bestimmen, aber auch ein zeitlicher Abbruch kommt prinzipiell in Frage. Es wurde beobachtet, dass nach ca. 6 h mindestens 95 % der Ionentauscher zersetzt wurden.

pH-Arbeitsbereich:

Der pH-Arbeitsbereich erwies sich als relativ robust und führt zu einer sehr guten Zersetzungseffizienz im Bereich 2,5 bis 3,6, wobei die Ränder jeweils eine geringfügig bessere

Effizienz bzw. geringfügig schlechtere Effizienz zeigen. In Abbildung 7 ist der Verlauf des CO₂-Anteils an der Abluft, die Abluftrate sowie der entsprechende pH-Wert dargestellt. Der CO₂ – Anteil ist tendenziell zu verstehen, da der Abgasstrom für die Sensorik mit Stickstoff verdünnt wurde. Die Verdünnung beträgt ca. 3-4, d.h. ein Anteil von 20 % entsprechen in etwa (in Abhängigkeit der Abgasrate) einem Anteil zwischen 60 – 80%. Beim Start (linke Spektren) ist zu sehen, dass der pH-Wert von 3,6 zu einem geringeren CO₂-Anteil führt als ein pH-Wert von ca. 3,2. In den rechten Spektren kann eine sinkende Effizienz mit steigenden pH-Werten abgelesen werden.

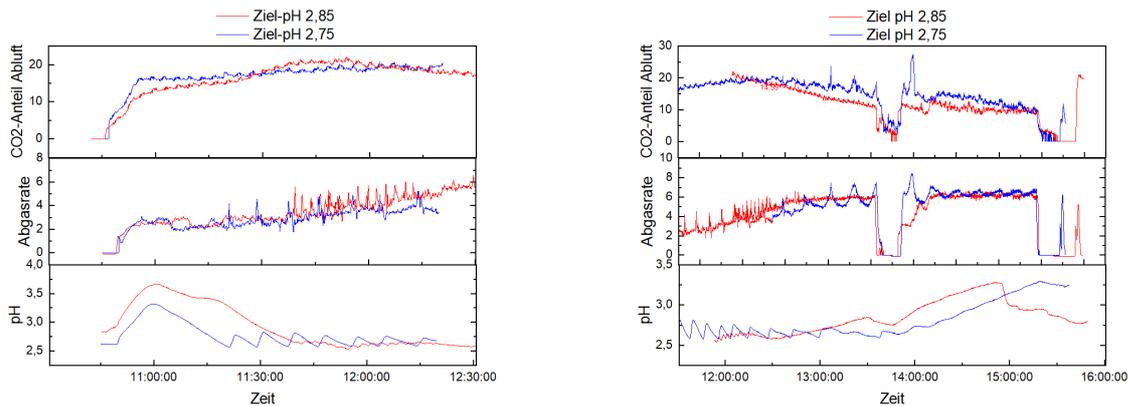


Abbildung 7: CO₂-Anteil und Abgasrate in Abhängigkeit vom pH-Wert, links Prozessstart, rechts Prozess nach ca. 1h

Dosierstrategie:

Hierbei hat sich gezeigt, dass eine Dosierrampe, bzw. die in den Vorversuchen ermittelte Dosierrampe zu einer stabilen und sehr guten Zersetzung der Ionentauscher führt bei zeitgleicher guten Prozesskontrolle. Abbildung 8 zeigt den Abbruch des radikalischen Zersetzungsprozess nach ca. 2h wegen einer zu steil gewählten Dosierrampe. Abbildung 9 zeigt, dass eine kontinuierliche Dosierrate zur Sicherheitsabschaltung nach wenigen Minuten führt. Eine niedrigere kontinuierliche Dosierrate führt hingegen zur Verlängerung des Verflüssigungsprozesses.

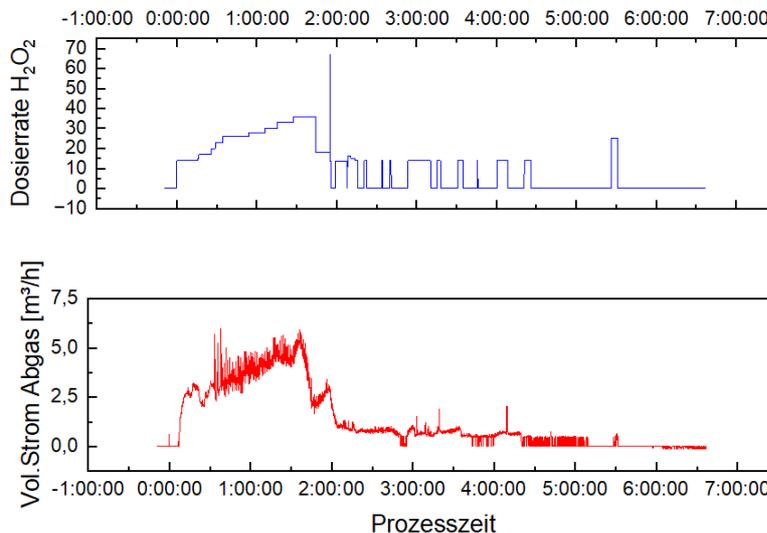


Abbildung 8: Zersetzungslauf mit steileren Dosierrampe: Sporadischer Prozessverlauf wegen Sicherheitsabschaltungen

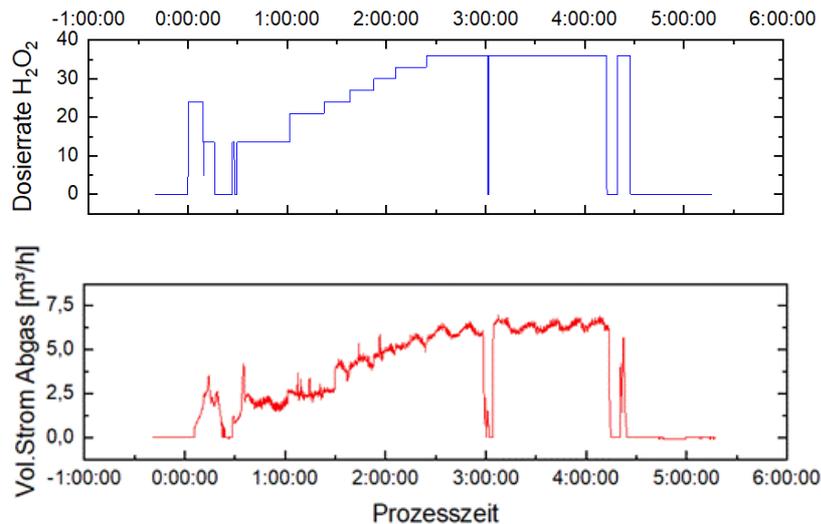


Abbildung 9: Zersetzungslauf mit Sicherheitsabschaltung wegen zu hoher Starteinspeiserate

Neben der Methodentwicklung wurde in H1 2024 überdies bereits die Anwendung auf einen reinen Kationentauscher erfolgreich getestet sowie mit Phase 1 „Feststoffgehalt und Aufkonzentrierung“ für AP3 „Immobilisierung der verflüssigten Ionentauscherabfälle in verschiedenen Matrizen“ begonnen. Das Volumen von ausgewählten verflüssigten Ionentauscherabfällen wurden mittels Rotationsverdampfer eingengt und so für die Immobilisierung mittels verschiedener Matrizen vorbereitet.

Vielversprechende Lösungsansätze gibt es auch für das aufgetretene Problem der Bestimmung der Wasserstoffperoxid-Konzentration. Hier haben erste Versuche gezeigt, dass mittels Raman-Spektrometrie bzw. Titrimetrische Online-Methoden zuverlässige Aussagen zur Wasserstoffperoxid-Konzentration getroffen werden können.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In H2 2024 soll das Arbeitspaket 2 abgeschlossen werden (Anwendung der Methode auf verschiedene Ionentauschermaterialien und -beladungen) sowie die Phasen 2 und 3 „Zementrezepturen“ und „Geopolymerrezepturen“ des AP3 (Immobilisierung der verflüssigten Ionentauscherabfälle in verschiedenen Matrizen) weiterbearbeitet werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

Vorträge bei Konferenzen:

- Waste Management Symposia, Phönix
- IAEA TC, Zadar

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 (^{14}C). Damit kann eine Vorauswahl von Materialien getroffen werden, die möglicherweise direkt freigebbar oder ohne weitere Behandlung einlagerbar sind. Bei einem sehr geringen Anteil an flüchtigem ^{14}C in der Grafitmatrix könnte das Abfallvolumen an Grafit im Endlager Konrad signifikant optimiert werden. Alle anderen Anteile müssen nach einer Klassifizierung auf ihre Dekontaminierbarkeit untersucht werden.

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

Im Februar wurden die letzten Großgeräte, der Hochtemperaturofen sowie der Autoradiograph, geliefert und installiert. Die werkseitige Schulung fand statt und die Inbetriebnahme der Geräte wurde erfolgreich abgeschlossen (Arbeitspaket 2).

Ein Großteil des letzten halben Jahres wurde für die Inbetriebnahme sowie die Methodvalidierung der einzusetzenden Geräte zur Charakterisierung genutzt, die nun fast vollständig abgeschlossen ist (Arbeitspaket 3).

Erste unbestrahlte sowie bestrahlte Grafitproben aus Mainz wurden geliefert und für die Untersuchungen eingesetzt. Im Rahmen der Methodvalidierungen wurden C-14 und H-3 Glukose Nuklidstandards gekauft.

Im Rahmen einer Masterprojektarbeit wurde der Autoradiograph mit den oben genannten Radionuklidstandards kalibriert und die ersten Grafitproben aus Mainz auf ihre Radionuklidverteilung überprüft (Arbeitspaket 3).

Die C-14 und H-3 Standards, wurden des Weiteren für die Bestimmung der Wiederfindungsraten im Oxidizer verwendet. Wiederfindungsraten von $\geq 95\%$ für C-14 und $\geq 85\%$ für H-3 konnten bestimmt werden. Die Finalisierung der Methodvalidierung des Oxidizers, findet zurzeit statt. Mit unbestrahlten Proben von Reaktorgrafit, konnten zudem die Parameter der Messmethoden bestimmt und eingestellt werden.

Zur Methodvalidierung des Flüssigszintillationszählers (LSC) für C-14 und H-3, nahmen wir an Ringversuchen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BFG) teil. Ein erfolgreiches Ergebnis konnte bereits für C-14 erzielt werden. Das Ergebnis und Zertifikat für H-3 liegt noch nicht vor (Arbeitspaket 3).

In einer Bachelorarbeit zur Gammaskpektrometrie wurden die Effizienzkurven für verschiedene Geometrien mittels Simulationsprogrammen bestimmt, experimentell mit Radionuklidstandards überprüft und ein experimenteller Aufbau mit Kollimator für Grafitproben gebaut und getestet (Arbeitspaket 3).

Alle Arbeitsabläufe wurden optimiert und Standardarbeitsanweisungen (SOPs) werden verfasst. Derzeit werden die Grafit-Proben aus Mainz charakterisiert (Arbeitspaket 3).

Die Projektleitung, sowie die Doktorand:innen nahmen im April am BMBF-FORKA Statusseminar teil. Ein interessanter Erfahrungsaustausch mit anderen Projektleiter:innen, sowie Doktorand:innen in diesem Themengebieten hat stattgefunden.

Darüber hinaus, haben die Projektleitung, sowie die Doktorand:innen ihr Projekt bei der Kerntechnik 2024 Konferenz, erfolgreich in zwei Vorträgen und einem Poster an Wissenschaft und Industrie vorgestellt. Die Doktorandin hat einen Preis für Ihren Vortrag erhalten. Wir konnten zudem weiter unser Netzwerk ausbauen und neue nationale, sowie internationale Kontakte knüpfen. Großes Interesse an unserem Projekt gab es von einer englischen Firma. Erste Gespräche haben auf der Konferenz stattgefunden, müssen aber weiter vertieft werden (Arbeitspaket 1).

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Bestimmung der Radionuklidinventare, sowie deren räumliche Verteilung in den Grafitproben aus Mainz werden abgeschlossen. Abhängig von den Resultaten, werden wir beginnen, den flüchtigen Anteil an C-14 mittels Ausheizen in kleinen Rohr-Öfen zu bestimmen (Arbeitspaket 3). Die Ergebnisse werden zusammengetragen und mit der Leitung des TRIGA Reaktor Mainz diskutiert. Zudem wird über weitere Proben, oder aber auch gezielte Bestrahlungen von unbestrahlten Grafit-Proben gesprochen werden (Arbeitspaket 2).

Bohrkernproben vom JEN Jülich werden im August / September bei uns eintreffen. Deren Charakterisierung wird mit den von uns erstellten Methoden durchgeführt und mit bereits bestehenden Analysewerten zu diesen Proben verglichen (Arbeitspaket 3). Es sollen weitere Gespräche zu möglichen neuen Proben vom JEN im Laufe der nächsten Monate stattfinden.

Sowohl die Superkritische Extraktionsanlage, wie auch der Hochtemperaturofen für die thermische Behandlung der Grafite sollen im Laufe des nächsten halben Jahres in Betrieb genommen werden, validiert werden und erste inaktive Tests sollen erfolgen (Arbeitspaket 4).

Nach der Konferenz Kerntechnik 2024, wurde die Projektleitung von der Firma Krantz GmbH zu einem Workshop im Oktober eingeladen, wo Sie das Projekt vorstellen wird.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Zurzeit haben wir keinen Überlapp mit anderen Vorhaben. Ende Juni hat ein Reaktorgrafit Workshop, organisiert von Herr Friedrich vom Fraunhofer-Institut in Dresden, stattgefunden. Hierbei wurde über Problematiken und ein möglicher neuer FORKA Antrag zu dieser Thematik diskutiert, in der die Projektleitung Unterstützung bei der Charakterisierung der Reaktorgrafite angeboten hat. Ein neuer Antrag wird voraussichtlich erst Ende 2025 eingereicht.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Konferenz-Proceeding Kerntechnik 2024:

1. Estimation of radionuclide inventory of irradiated reactor graphite using the MC-based program FLUKA (*M. Klink et. al.*)
2. Characterization of irradiated graphite samples using destructive and non-destructive methods (*L. Meunier et. al.*)
3. Characterization and decontamination of irradiated reactor graphite (*L. Lens et. al.*)

Masterprojektarbeit:

Charakterisierung und Validierung eines Autoradiographen zur Verifizierung der Homogenität von bestrahltem Reaktorgraphit (*D. Müller*)

Bachelorarbeit:

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

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9432
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Darmstadt	
Vorhabenbezeichnung: Forschungsarbeiten zur Entwicklung eines bildgebenden, zerstörungsfreien Analyse- und Deklarationsverfahrens, für radioaktive Abfallgebinde, basierend auf lasergetriebenen Neutronenquellen (ZARA-LAN)	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2021 bis 30.09.2024	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 447.242,89€
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Markus Roth	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: markus.roth@physik.tu-darmstadt.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Obige Tabelle zeigt den Arbeitsplan aufgliedert nach Teilprojekten. Obschon thematisch verbunden, wurden die Teilbereiche größtenteils unabhängig voneinander abgearbeitet. In Kombination kommen das Target, der Konverter und die Teilchendetektoren nur in einem Experiment mit einem hinreichend intensiven Laser zum Einsatz. Alle Einzelkomponenten waren einsatzbereit und wurden in einem Laser-Plasma Experiment am JETI System in Jena mit hoher Repetitionsrate und signifikanter Laserenergie im Bereich einiger Joule pro Puls im ersten Halbjahr 2024 getestet. Das entwickelte Design (T2) ist apparativ umgesetzt (T3) und wurde in Vorbereitung für diese Experiment-Kampagne mit Blick auf Stabilität und praktische Nutzbarkeit weiter verbessert. So hat sich z.B. der neue „catcher“ für die Flüssigkeit des Liquid Leafs aus gut wärmeleitenden Aluminium Legierung im Experiment bewährt. Da sich der Catcher in unmittelbarer Nähe zum Wechselwirkungspunkt befindet, wird das Material durch die generierte Strahlung aktiviert. Für den praktischen Betrieb bei hoher Wiederholfrequenz und hoher mittlerer Laserleistung, eignet sich Aluminium hier besser als Kupfer. Die hinsichtlich der Geometrie – Form, Oberflächengüte und Toleranzen - kritische Düse des Catchers, mit einem

Eingangsdurchmesser von ca. 325 Mikrometern, konnte erfolgreich in Kooperation mit der Firma Focused Energy GmbH auf deren hochpräzisen 5-Achse CNC Maschine gefertigt werden. Mit dem modifizierten Aufbau wurde die Lagestabilität des Liquid-Leaf mit einem Punkt-Konfokalsensor bei einer Abtastrate von 2kHz vermessen (T4); die Lageschwankungen auf kurzer Zeitskala liegen innerhalb eines Bereichs von weniger als +/- 0,5 Mikrometern und damit innerhalb der Rayleigh-Länge des Laserfokus. Eine langfristige thermische Drift kann online gemessen und soll künftig durch aktive Regelung, falls im konkreten Anwendungsfall von Nöten, kompensiert werden. Das Liquid Leaf ist im Vorfeld des Experiments in der Vakuum-Kammer aufgebaut und getestet worden (T5), Parameterstudien zur Stabilität und Vakuumlast (T6) wurden durchgeführt. Mit einer aktiven Vorkühlung des Wassers und einer im Rahmen dieses Projektes entwickelten Peltier-Kühlung und aktiven Regelung des Auffang-Gefäßes für die Rezirkulation, sowie des optimierten Catcher-Designs konnte ein stabiler Betrieb bei einem Kammerdruck von 5×10^{-5} mbar erreicht werden. Dies ermöglicht stabile Ionenbeschleunigung via des TNSA Mechanismus und ist auch ein hinreichend gutes Vakuum, um an verfügbaren Kurzpuls-Laser-Systemen experimentieren zu dürfen. In der Praxis wird an den einschlägigen Systemen ein Druck in der Vakuumkammer von 10^{-4} mbar oder besser verlangt, weil davon ausgegangen wird, dass im Restgas befindliche Kohlenwasserstoffe zu einer Schädigung der Gitter im Kompressor des CPA Laser-Systems beitragen. In einer Anlage, die explizit für die Laser-Neutronen Erzeugung mit einem Liquid-Leaf Target konzeptioniert und gebaut wird, lässt sich die Experiment-Kammer und die Kompressor-Vakuumkammer durch ein Pinhole und eine differenzielle Pumpstrecke apparativ voneinander trennen und so auch bei höheren Drück betreiben. Dieses Vorgehen ist in der Erstellung des Gesamtkonzeptes (R5) berücksichtigt. Das für Anfang 2024 geplante Experiment (T8) am Polaris Laser in Jena wurde durchgeführt und konnte gegenüber der ursprünglichen Planung um zwei weitere Experiment-Wochen verlängert werden. Ein wesentlicher Faktor der in einer kommerzielle Anlage im Schutzkonzept (T7) für die filigranen Jet-Düsen berücksichtigt werden sollte, ist der Kontrast des Lasers. Im Experiment wurde sowohl mit als auch ohne „Plasma-Spiegel“ geschossen. Bei den Schüssen ohne Plasmaspiegel mit schlechterem Laser-Kontrast, wurde eine Schädigung der Düsen beobachtet. Die Zusammenhänge werden gegenwärtig noch ausgewertet. Es muss jedoch bedacht werden, dass zwischen zwei Laserpulsen bei Verwendung eines Plasmaspiegels, einige 10s liegen, da jeweils der Plasmaspiegel um ein Stück verfahren wird, so dass der Laser eine noch unbeschädigte Stelle trifft. Inwieweit die Düsen bei Dauerbetrieb mit z.B. 1Hz und mit signifikanter mittlerer Leistung z.B. dem Plasma-Debris standhalten, wird erst ein Experiment mit einem Laser zeigen, der einen wohldefinierten Laser-Kontrast auch ohne Plasmaspiegel hat. Aktuell werden die experimentellen Daten ausgewertet. Die Datenlage verspricht mehrere Publikationen, auch für unserer Projektpartner in Jena in referierten Journalen. Diese sollen bis zum Ende dieses Projektes zum 30.09.2024 eingereicht sein.

Die Berechnung der benötigten Neutronenflüsse (R4) und das Erstellen eines Gesamtkonzeptes (R5) ist in Zusammenarbeit mit der Focused Energy GmbH erfolgt. Ein Nachfolgeprojekt mit weiteren Industriepartnern wurde beantragt, genehmigt und zum 01. Juni 2024 begonnen. In diesem wird ein Demonstrator einer lasergetriebenen Neutronen- und Röntgenquelle für die zerstörungsfreie Radiographie gebaut.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In den verbleibenden 3 Monaten dieses Projektes, werden v.a. die experimentellen Daten ausgewertet und in Form von Veröffentlichungen der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich gemacht.

Ein über dieses Projekt finanzierter Doktorand wird voraussichtlich seine Arbeit zum Beginn des Wintersemesters 2024/25 einreichen und dann noch in 2024 verteidigen. Für den zweiten Doktoranden konnte eine Anschlussfinanzierung über das Folgeprojekt sicher gestellt werden

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Die TU-Darmstadt ist Projektpartner im BMBF-Nachfolgeprojekt „Planet“. Dieses wird von der Firma Focused Energy GmbH koordiniert; es hat zum 01.Juni.2024 begonnen.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Im ersten Halbjahr 2024 sind keine Abschlussarbeiten im Zusammenhang mit diesem Forschungsvorhaben erschienen. Eine Veröffentlichung mit dem Titel „Demonstration of neutron time of flight diffraction with an event-mode imaging detector“ ist im Mai 2024 im Journal of Applied Crystallography erschienen.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9436A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: AFRY Deutschland GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (DABKO) 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.

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 Arbeitsprogramm Punkten)

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

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

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

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

Präsentation auf der FORKA-Tagung in Berlin.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9436B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Darmstadt – Fachbereich Bau- & Umweltingenieurwissenschaften – Institut für Numerische Methoden im Bauwesen	
Vorhabenbezeichnung: VP: Digital optimierte Verpackungsplanung von aktivierten Betonstrukturen in Konrad-Container beim Rückbau kerntechnischer Anlagen (DABKO) 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. Es wurde konkret ein Verfahren entwickelt, IFC-basierte Geometrien in die Game Engine Unity einzulesen und mit importierten Aktivitätsdaten zu überlagern. Durch entsprechende Datenbeschaffung liegen Quelldateien unterschiedlicher Biologischer Schilde vor. Die Aktivitätsdaten sind je nach Unternehmen, das sie bereitgestellt hat, unterschiedlich strukturiert. Daher wurden Skripte erstellt, um diese Daten in eine standardisierte Form zu transformieren. Um die geometrischen Daten des biologischen Schildes mit den Aktivitätsdaten zu überlagern, bedarf es einer manuellen Vorverarbeitung der Modelldaten. Aktuell liegen drei Datensätze zu verschiedenen Kernkraftwerken vor.

Arbeitspaket 3: Automatisierte Abschirmberechnung

Die zuvor erstellten Skripte für die Schaffung der Schnittstelle zwischen BIM und FLUKA und für die Simulationen selbst wurden hinsichtlich der Anzahl der verarbeiteten Nuklide erweitert, sodass nun mit geringem Aufwand eine beliebige Anzahl Nuklide in einem FLUKA-Run simuliert werden können. Ein Prüfskript wurde erstellt, das die Ergebnisse der FLUKA-Simulation auswertet und Rückmeldung an den Verpackungsalgorithmus liefern kann, ob ein vorgeschlagener Container den Konrad-Annahmebedingungen hinsichtlich der herrschenden Dosisleistung entspricht. Dabei werden im Falle der Grenzwertüberschreitung die konkreten räumlichen Punkte der Überschreitung im Außenbereich des Containers übermittelt. Zur weiteren Überprüfung der Abschirmberechnung wurden Simulationen für den am stärksten aktivierten Bereich des biologischen Schildes eines Kernkraftwerks durchgeführt.

Arbeitspaket 4: Optimierung der Verpackungsplanung

Die geplante Zerschneidung und Verpackung wurde so umgesetzt, dass Schnitte auf Basis einer Austauschdatei gesetzt und die Teilsegmente in Container verpackt werden. Methoden zur Berechnung der Schwerpunktlage, des Füllgewichts und sowie eine vereinfachte Methode zur Berechnung des Störfallsummenwerts des Containers wurden implementiert. Der nach dem Störfallsummenwert kritischste Container wird für die Abschirmberechnung in FLUKA verwendet. Derzeit werden die Aktivitätsdaten der Teilsegmente gemittelt, um deren Gesamtaktivität zu berechnen. Diese Methode soll durch genauere Gewichtung der Aktivitäten nach Teilsegmentgewicht präzisiert werden.

Die Animation und Visualisierung der optimierten Schnitt- und Verpackungsplanung (AP 4.5) stellt den letzten Schritt im DABKO-Workflow dar. Hierzu wurde ein Dateiformat entwickelt, mit dem Segmente eines Biologischen Schildes hinsichtlich ihrer Geometrie, der Reihenfolge des Herauslösen und des Platzierens in einen Container beschrieben werden. Wird diese Datei auf das IFC-Modell des Biologischen Schildes angewandt, sieht der Nutzer in Unity, wie aus dem Biologischen Schild Segmente nach und nach herausgelöst und in die Container abgelegt werden. Zudem erhält der Nutzer eine PDF-Auswertung und unter Verwendung der Autodesk AutoCAD- und REVIT-API CAD-Zeichnungen der gepackten Container. Die Ablaufanimation wird gegenwärtig verfeinert, u.a. an das Lamellenverfahren angepasst, bei dem nicht einzelne Stücke, sondern zunächst Lamellen herausgelöst und diese auf einem Zerlegetisch zerteilt werden. Perspektivisch soll die Logik zur Beschreibung der Geometrie der Teilsegmente nicht mehr Teil von Unity, sondern von der davor stattfindenden Voxelisierung sein.

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 Arbeitsprogramm Punkten)**5. Bezug zu anderen Vorhaben****6. Berichte und Veröffentlichungen**

Präsentation auf der FORKA-Tagung in Berlin

Akzeptiertes Poster auf der Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz; September 2024

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 (DABKO) TP: Datenbank	
Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2022 bis 30.09.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 18.622,45 €
Projektleiter/-in: Dr. Regina Sachse	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: regina.sachse@tuvsud.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Arbeitspaket 1: Koordination des Gesamtvorhabens

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

Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells

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

Arbeitspaket 3: Automatisierte Abschirmungsberechnung

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

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

Arbeitspaket 4: Optimierung der Verpackungsplanung

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

Arbeitspaket 5: Validierung des Optimierungsverfahrens

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

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

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

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

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

Arbeitspaket 7: Dokumentation

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

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

Arbeitspaket 1: Koordination des Gesamtvorhabens

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

Arbeitspaket 2: Erstellung des BIM-Modells

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

Arbeitspaket 3.2: Verifikation der Abschirmungsberechnungen

Keine.

Arbeitspaket 6: Schaffung einer zusätzlichen Datenbank

Mehrmalige Nachfrage bei der BEG und virtuelles Treffen mit BGE zur Abstimmung der Anbindung an Nuclear Waste Logistics (NWL) der BGE.

Arbeitspaket 7: Dokumentation

Interne Notizen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

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

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Keine.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Präsentation auf der FORKA-Tagung in Berlin.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 (EducTUM)	
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

Im Zentrum der Arbeiten zu Beginn des ersten Halbjahres 2024 standen die Vorbereitungen für die Evaluierung im April 2024. Hierfür wurden Inhalte zum Thema „segmentiertes Gamma-Scanning“ in Form von Texten, Bildern, Videos und animierten Grafiken erstellt, in verschiedene Layouts eingebettet und dem Evaluierungsgremium vorgestellt. Von diesem wurde u. a. (berechtigte) Kritik an der präsentierten visuellen Umsetzung des Themenbereichs geübt. Als Folge hiervon wurde das generelle Layout sowie Teile der Inhaltsvermittlung überarbeitet bzw. komplett neu aufgesetzt. Das Layout ist nunmehr für alle Webseiten einheitlich gestaltet und basiert auf einem reduzierten Farbauftritt in weiß und blau. Mit dieser einfachen und klaren Setzung werden klassisch-moderne Werte, Seriosität und Kompetenz vermittelt. In der praktischen Umsetzung wurden der UX Writing Guide (User eXperience Writing Guide) und sogenannte UX-Gesetze berücksichtigt. Ersterer hilft die Bedürfnisse der Nutzer und die

Zielsetzung des Projektes (d. h. Aus-, Weiter- und Fortbildung) in Einklang zu bringen, letztere beschreiben die Prinzipien und Regel die dabei unterstützen Inhalte über das Layout zu transferieren sowie Benutzerfreundlichkeit und damit verbunden die Interaktivität der Nutzer zu fördern. Das neue Layout berücksichtigt zudem Responsive Design und Barrierefreiheit, diese sind aber aktuell noch nicht vollständig umgesetzt.

Nach weitestgehender Fertigstellung des neuen Layouts, wurde mit der Einbindung von Inhalten zum Thema „segmentiertes Gamma-Scanning“ und zu weiteren Themen begonnen. Einen großen zeitlichen Aufwand nehmen hierbei die Erstellung von Videos (mit Untertiteln) sowie von animierten, interaktiven Grafiken zur unterstützenden Erklärung von Sachverhalten ein. Auch wenn die einzelnen Webseiten in ihrer Funktionalität selbsterklärend sind, wurde ergänzend unter dem (vorläufigen) Menüpunkt „Hilfe“ ein Unterpunkt „Nutzung der Webseiten“ integriert. Dieser gibt zusätzliche Erklärungen zu den verschiedenen Bereichen der Webseiten, ihren Funktionen und den allgemeinen Nutzungsprinzipien, u. a. durch Verwendung kurzer Erklärvideos.

Ein wesentlicher Aspekt des Projektes und sein Alleinstellungsmerkmal ist die Bereitstellung (kommerzieller) Software und die Durchführung (realer) Messungen durch registrierte Nutzer. Hierfür muss der Server auf dem diese Programme bereitgestellt werden von außen, d. h. aus dem Internet, zugänglich sein. Dies erforderte umfangreiche Arbeiten, um illegale Zugriffe abwehren und das System entsprechend zu härten. Mittlerweile ist der sichere Zugriff registrierter Testnutzer möglich. Diese können das Gamma-Spektroskopieprogramm LVIS, das als erstes bereitgestellt wurde, nahezu vollumfänglich nutzen, allerdings aus Sicherheits- und Copyrightgründen keine eigenen Daten (Spektren) hoch- oder erfolgte Auswertungen herunterladen. Aktuell besteht bereits die Möglichkeit mit bereitgestellten Messdaten eine simulierte Messung sowie on-line Messungen mit realen Messproben mit einem NaI-Detektor durchzuführen. Der NaI-Detektor befindet sich in einem Messlabor der RCM. Voraussichtlich Ende August kommt als weiterer Detektor ein LaBr₃-Detektor hinzu. Die vorgesehene Variation der Messproben findet aktuell nicht statt, da das System sich noch in der Testphase befindet.

Um mehreren Nutzern die Möglichkeit zu geben unabhängig voneinander gleichzeitig Messungen durchführen zu können, wurde zwischen dem eigentlichen Messplatz, der aus Detektor, Detektorelektronik und Messrechner besteht, ein sogenannter Broker zwischengeschaltet. Diese im Rahmen des Projekts erstellte Software gibt die aktuellen Messdaten inkrementell an das vom jeweiligen Nutzer gestartete Programm weiter (aktuell steht den Testnutzern „nur“ LVIS zur Verfügung). Dies bedeutet, dass der jeweilige Nutzer die Messung zu einem beliebigen Zeitpunkt starten, unterbrechen, stoppen oder löschen kann. Er kann diese Daten mit den in LVIS implementierten Funktionalitäten weiterverarbeiten (z. B. Kalibration, Peaksuche, Nuklididentifikation, Aktivitätsbestimmung etc.)

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Arbeiten im zweiten Halbjahr 2024 fokussieren sich auf den weiteren Ausbau der Umsetzung des Themenbereichs „segmentiertes Gama-Scanning“ in den vorgesehenen vier verschiedenen Anforderungsstufen auf der Lern- und Wissensplattform EducTUM, nunmehr eingebettet in das neue Layout, sowie weiterer Themenbereiche. Bevorzugt behandelt werden die Bereiche, die bereits im Abschnitt „segmentiertes Gamma-Scanning“ angesprochen werden, wie beispielsweise Detektoren für Gamma-Spektrometrie, Messelektronik oder Auswerteverfahren. Auch sollen die bereits für das erste Halbjahr 2024 geplanten Bereiche Blogs und FAQs realisiert werden. Für die Nutzung des Programms LVIS durch Nutzer ist vorgesehen eine tutorialbasierte Einführung mit praktischen Beispielen zu erstellen. Diese soll neben Erklärung, wie Messungen

durchzuführen sind, auch die Themen Kalibration, Auswertung, Reporting etc. berücksichtigen. Das Tutorial bildet auch die Grundlage für die effektive Nutzung des Programms in den praktischen Übungen.

Die Möglichkeit der Durchführung realer Messungen soll durch Bereitstellung eines LaBr₃-Detektors für Messungen mit dem Gamma-Spektroskopieprogramm LVis erweitert werden und Testnutzern zur Verfügung gestellt werden. Tests der Zuverlässigkeit und Stabilität des Zugriffs auf diesen Bereich soll durch einen vergrößerten Kreis von externe Testnutzer verifiziert werden. Auch die Einbindung weiterer Programme ist vorgesehen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keiner

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 Fassgebänden (ZIKA) TP: Konzeption, Bau des Demonstrators und Durchführung von Test- und Praxisphase	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2023 bis 31.08.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 567.564,65 € (inkl. Projektpauschale)
Projektleiter/-in: Prof. Dr.-Ing Sascha Gentes	E-Mail-Adresse des/der Projektleiter/-in: sascha.gentes@kit.edu

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Forschungsprojekt ZIKA setzt sich aus folgenden Arbeitspaketen zusammen:

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

AP1: Grundlagenarbeiten

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

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

Im April fand das 3. Projekttreffen in Berlin auf dem Gelände der BAM statt. Neben der Besprechung des aktuellen Arbeitsprogramms und der Planung der nächsten Schritte gab es die Möglichkeit, das Thermografielabor zu besichtigen und einen Überblick über die Technik zu verschaffen. Im Juni fand das 4. Projekttreffen in Karlsruhe am KIT-TMB statt. Zusätzlich zu den Haupttreffen wird regelmäßig alle zwei Wochen ein Online-Meeting durchführen. Ziel der Treffen ist es, dass trotz räumlicher Distanz, die Austausch durch den Partner zu verstärken. Zur Automatisierung des zerstörungsfreien Systems, hauptsächlich unter Verwendung von Ultraschall und Magnetischem Streuflussmessung, ist der Einsatz eines Roboterarms geplant. Dies wurde vom KIT-TMB erworben und wird derzeit an der Programmierung gearbeitet.

Im Rahmen des AP1 wurde das Lastenheft für ZIKA erstellt. Hierbei arbeiteten insbesondere das KIT-TMB und das KAH zu. Im Laufe des Projekts kann, bspw. durch neue oder geänderte Anforderungen an die Arbeitsweise oder unerwartete Ergebnisse bei Versuchen, eine Änderung des Lastenheftes notwendig sein. Diese werde mit den allen Projektpartnern abgestimmt.

Im Rahmen des AP2 wurden Probekörper mit Herstellung von künstlichen Fehlern, basierend auf dem Fehlerkatalog, vorbereitet. Dazu wurde ein 200 Liter Fassgebinden als Probekörper in verschiedenen Mustern (30 x 10 cm) mit möglichst bekannten Fehlern ausgeschnitten (siehe Abb. 1). Diese Probekörper befinden sich momentan bei der BAM zur Vermessung und zur Charakterisierung. Diese werden mittels potenzieller zerstörungsfreier Verfahren (Thermografie, Ultraschall, Laservibrometrie, Magnetische Streuflussmessung und Wirbelstrom) untersucht, um die physikalischen Eigenschaften zu bestimmen.



Abbildung 1 – Probekörper mit künstlichen Fehlern

Mit dem Ziel, das Projekt räumlich und technisch an die Praxis und Bedürfnisse der Nutzer anzupassen sowie den Randbedingungen für den Aufbau des Demonstrators um mögliche

technische Lösungen für den Ablauf der Inspektionsvorgänge zu finden, erfolgte eine Präsentation des Projekts bei Kerntechnische Entsorgung Karlsruhe GmbH (KTE) und EnBW Kernkraft GmbH.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

In den nächsten Monaten, im Rahmen des AP3 und AP4, erfolgt die Untersuchung zur Parameterbestimmung der Komponenten für den entwickelnden Demonstrator und der Technischer Entwurf der Anlage.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Kurzvorstellung des Projektes auf der Homepage des TMB: https://www.tmb.kit.edu/Forschungsprojekte_7870.php
- FORKA Statusseminar, am 10. April 2024 in Berlin, Vortrag *Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebänden (ZIKA)*
- DEM 2024 – International Conference on Decommissioning Challenges, vom 27. bis 29. Mai 2024 in Avignon – France, Poster zu *Research project: Automated non-destructive internal corrosion detection on radioactive drums (ZIKA)*
- Kerntechnik 2024, vom 11. Bis 13 Juni in Leipzig, Paper zu *Automated non-destructive internal corrosion detection on radioactive drums (ZIKA)*
- Kerntechnik 2024, vom 11. Bis 13 Juni in Leipzig, Vortrag zu *Automated non-destructive internal corrosion detection on radioactive drums (ZIKA)*

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9446B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)	
Vorhabenbezeichnung: VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebänden (ZIKA) TP: Untersuchung und Bewertung der Eignung verschiedener ZfP-Verfahren, sowie Hard- und softwaremäßige Unterstützung bei der Integration von ZfP-Verfahren in den Demonstrator.	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2023 bis 31.08.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 289.823,13 €
Projektleiter/-in: Dr.-Ing. Julien Lecompanion	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: julien.lecompagnon@bam.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

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

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

Das Forschungsprojekt ZIKA setzt sich aus folgenden Arbeitspaketen zusammen:

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

AP1: Grundlagenarbeiten

AP2: Voruntersuchung

AP3: Bestimmung des Parameterraums

AP4: ZfP-Auswahl

AP5: Softwareentwicklung

AP6: Konzeptionelles Systemdesign

AP7: Komponentenzusammenstellung

AP8: Bau des Demonstrators

AP9: Sensorikinstallation

AP10: Test- und Validierungsphase

AP11: Praxisphase

AP12: Evaluierung

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

Im April fand das 3. Projekttreffen in Berlin auf dem Gelände der BAM statt. Neben der Besprechung des aktuellen Arbeitsprogramms und der Planung der nächsten Schritte gab es die Möglichkeit, das Thermografielabor zu besichtigen und sich einen Überblick über die Technik zu verschaffen. Im Juni fand das 4. Projekttreffen in Karlsruhe am KIT-TMB statt. 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.

Das Arbeitspaket AP1 „Grundlagenarbeiten“ wurde im Berichtszeitraum vollständig abgeschlossen.

Parallel wurden im AP2 Voruntersuchungen an korrodierten Rohrsegmenten durchgeführt, die als skaliertes Modell in Form und Beschaffenheit den zu untersuchenden Lagerfässern ähneln. Hierbei wurden erste thermografische Prüfmethode auf ihre Empfindlichkeit in der Detektion von rückseitiger Lochkorrosion hin validiert. Weiterhin wurden im Laufe des Berichtszeitraumes erste Realgeometrieobjekte vom KIT geliefert, die nun auch eine Validierung an Fassegmenten erlaubt. Eine genaue Vermessung mit Referenzverfahren zum quantitativen Vergleich steht hier noch aus.

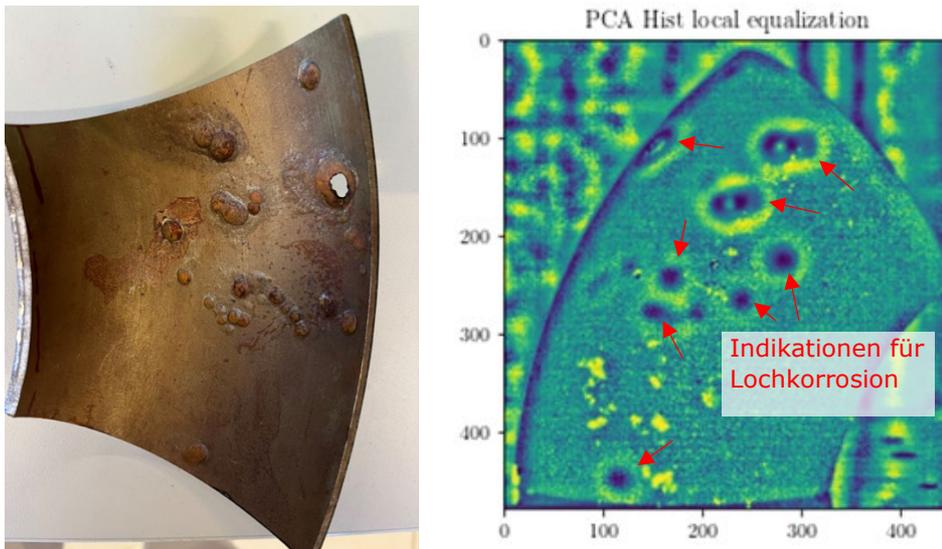


Abbildung 10: Foto eines Rohrsegments mit natürlicher interner Lochkorrosion (links) als Geometriedummy für Lagerfässer; Testergebnis aktiver thermografischer Prüfung (rechts).

Im Arbeitspaket AP3 wurden erste Untersuchungen mit verschiedenen thermischen Anregungsverfahren (optisch und Wirbelstrom) durchgeführt. Schwerpunkt lag bisher auf der Qualifizierung einer Wirbelstromanregung, da diese durch ihren besonders wirtschaftlichen Einsatz besticht. Mit der Qualifizierung von elektromagnetischer Ultraschallprüfung und elektromagnetischer Prüfung wurde begonnen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im nächsten Berichtszeitraum sollen die Versuche aus AP3 komplettiert werden, sodass sich ein vollständiges Bild aller in Frage kommender thermografischer Anregungsarten und Auswertemethodiken darstellt. Weiterhin soll mit der direkten Validierung mittels der bereitgestellten Realgeometrieprobekörper im Arbeitspaket AP4 begonnen und weitgehend abgeschlossen werden, sodass sich zum Projektmeilenstein in Q1/2025 eine detaillierte Übersicht der Performance aller untersuchter Verfahren zur finalen Auswahl ergibt.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9446C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Kraftanlagen Heidelberg GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebinden (ZIKA) TP: Planung und Projektberatung, sowie Vernetzung mit Experten aus dem Bereich der Kerntechnik	
Laufzeit des Vorhabens: 01.09.2023 bis 31.08.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 70.043,72 €
Projektleiter/-in: Jonas Braun	E-Mail-Adresse des/der Projektleiter/-in: jonas.braun@bcen-kraftanlagen.com

1. Zielsetzung des Vorhabens

Das Gesamtziel des Forschungsantrages ZIKA ist es, die Innenkorrosion an radioaktiven 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, 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 Fassgebindes oder äußerlichen Veränderungen der Oberfläche. Wenn innere Schäden jedoch äußerlich bereits zu erkennen sind, ist die Integrität des beschädigten Fassgebindes nicht mehr gegeben, was erhebliche Konsequenzen nach sich zieht. Deshalb ist eine Früherkennung vor Ausfall der Integrität von besonderer Bedeutung für Zwischenlager mit schwach- und mittelradioaktiven Abfallgebinden.

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 April fand das 3. Projekttreffen in Berlin auf dem Gelände der BAM statt. Neben der Besprechung des aktuellen Arbeitsprogramms und der Planung der nächsten Schritte gab es die Möglichkeit, das Thermografielabor zu besichtigen und einen Überblick über die Technik zu verschaffen. Im Juni fand das 4. Projekttreffen in Karlsruhe am KIT-TMB statt. Zusätzlich zu den Haupttreffen wird regelmäßig alle zwei Wochen ein Online-Meeting durchgeführt. Ziel der Treffen ist es, dass trotz räumlicher Distanz, den Austausch durch den Partner zu verstärken.

Im Rahmen des **AP0** „Planungs- und Projektberatung“ sind die Recherchearbeiten zu den kerntechnischen 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 Fokus des **AP 1** „Grundlagenarbeiten“ wurde das Lastenheft für ZIKA erstellt. Hierbei arbeiteten insbesondere das KIT-TMB und KAH zu. Im Laufe des Projekts kann, bspw. durch neue oder geänderte Anforderungen an die Arbeitsweise oder unerwartete Ergebnisse bei Versuchen, eine Änderung des Lastenheftes notwendig sein. Diese werde mit allen Projektpartnern abgestimmt.

Im Fokus des **AP 2** „Voruntersuchung“ wurden die definierten Probekörper hergestellt und an die BAM zur Qualifizierung geeigneter ZfP-Verfahren versendet.

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**)

Im Rahmen des **AP3** und **AP4**, erfolgt in den kommenden Monaten die Untersuchung zur Parameterbestimmung der Komponenten für den entwickelnden Demonstrator und der technische Entwurf der Anlage.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

- Kurzvorstellung des Projektes auf der Homepage des TMB: https://www.tmb.kit.edu/Forschungsprojekte_7870.php
- FORKA Statusseminar, am 10. April 2024 in Berlin, Vortrag *Automatisierte zerstörungsfreie Innenkorrosionserkennung an radioaktiven Fassgebänden (ZIKA)*
- DEM 2024 – International Conference on Decommissioning Challenges, vom 27. bis 29. Mai 2024 in Avignon – France, Poster zu *Research project: Automated non-destructive internal corrosion detection on radioactive drums (ZIKA)*
- Kerntechnik 2024, vom 11. Bis 13 Juni in Leipzig, Paper zu *Automated non-destructive internal corrosion detection on radioactive drums (ZIKA)*
- Kerntechnik 2024, vom 11. Bis 13 Juni in Leipzig, Vortrag zu *Automated non-destructive internal corrosion detection on radioactive drums (ZIKA)*

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 (TRAVARIS) TP: Einfluss von natürlichen nanopartikulären Phasen auf die Radionuklidverteilung im Wirkungsgefüge Boden-Pflanze	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 31.10.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 450.719,50 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Thorsten Schäfer	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: thorsten.schaefer@uni-jena.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

- TP-A: Remobilisierung und Einfluss natürlicher nanopartikulärer Phasen auf die Verteilung von Radionukliden während des Transportes im Wirkungsgefüge Boden-Pflanze
- AP-1: Variation des Wasserstandes in Laborlysimetern
- AP-2: Implementierung der Wasserspiegelschwankung in Hydrus 2D/3D und ECOLEGO
- AP-3: Bepflanzung der Lysimeter mit anschließender Untersuchung von Porenwässern
- AP-4: Durchführung konsekutiver Umlaufsäulenexperimente
- AP-5: Sensitivitätsanalyse des bestehenden Modellierungsansatzes der Laborlysimeter mit neu generierten Daten zu Unterbodensystemen

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Im letzten Drittel des Berichtszeitraums wurde die Doktorandenstelle durch Frau M.Sc. Anna Kogiomtzidis besetzt. Die Laborlysimeter wurden planmäßig weiter mit Grimsel (GTS) – Grundwasser am neuen Standort bei 20°C betrieben und hydraulische Parameter im Monitoring überwacht. Dabei kam es zu Ausfällen der physikochemischen Datenaufzeichnung durch technische Schwierigkeiten. Ein Zeitraum von ca. 4 Monaten zum Angleich der hydrogeochemischen Bedingungen wurde eingeräumt, bevor im Rahmen einer Projektmodularbeit eine erneute Referenzprobenahme nach 1886 Tagen im Kontext des AP1 durchgeführt wurde. Vorher etablierte Redoxgradienten blieben unter den neuen Randbedingungen weiter bestehen, wobei sich Elementkonzentrationen in Porenwasser bodenspezifisch veränderten. Elektrische Leitfähigkeiten verdoppelten bis verneunfachten sich in der Probenahmetiefe 4 cm unter der Bodenoberfläche, was durch eine weitere Anreicherung von gelösten Salzen aufgrund von Evaporation zu erklären ist. Durch Ultrafiltrationen mit einem Größenausschluss von < 1 kDa, konnte die Verteilung und Verschiebung von DOC assoziiert mit der Fraktion $< 0.45 \mu\text{m}$ bis 1 kDa hin zu < 1 kDa gezeigt werden. Dies könnte auf eine Änderung der DOC-Qualität im Zuge einer fortlaufenden Pedogenese hindeuten. Weiterhin wurde z.B. für Selen eine fortwährende Kolloidassoziation gezeigt, wohingegen U vorrangig in der Fraktion < 1 kDa gefunden wurde. Im Rahmen von weiteren Vorexperimenten zur Bepflanzung der Lysimeter (AP3) wurden Wurzelexsudate der Buschbohne (*Phaseolus vulgaris* var. *nanus*) sowie deren Interaktion mit Se und die Aufnahme in Pflanzenkompartimente unter Verwendung hydroponischer Systeme untersucht. Wurzelexsudate wurden als Summenparameter (DOC) sowie chromatographisch mittels LC-OCD gemessen. Hierbei zeigte sich der höchste Anstieg der DOC-Konzentration in der Versuchsreihe mit der höchsten Se Konzentration von 2.0 mg L⁻¹ im Vergleich zu 0 mg L⁻¹. Die Auswertung der chromatographischen Daten ergab einen deutlichen Anstieg hochmolekularer Biopolymerverbindungen, Building blocks sowie von niedermolekularen Neutralverbindungen. Thermodynamische Gleichgewichtsberechnungen zeigten die theoretische Präsenz von Selenit, was im Kontrast zum eingesetzten Tracer Selenat stand, wohingegen die tatsächliche Speziation sowie die Fraktionierung in Lösungsbestandteile < 1 kDa nicht mit Messungen unterlegt werden konnte. Die Aufnahme von Se in Pflanzen war um einen Faktor 10 höher in der 2.0 mg L⁻¹ Se Lösung im Vergleich zu 0.2 mg L⁻¹, wodurch eine proportionale Aufnahme im Rahmen der verwendeten Konzentrationen impliziert werden kann.

4. Geplante Weiterarbeit

Nach Sichtung der bestehenden physiko-chemischen Messdaten aus den Lysimeterversuchen sollen diese in ein umfassendes Modell überführt werden. Dazu soll die im Rahmen des Projektes erworbene HYDRUS Software in Verbindung mit dem im Vorgängerprojekt entwickelten PHREEQC basierten Modell UNiSeCs eingesetzt werden. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Implementierung des kolloidgestützten Transports mittels des HYDRUS-Moduls C-Ride. Darüber hinaus ist eine Probenahme zur Gewinnung von Unterbodenmaterial an einem RefeSol-Standort geplant. Durch konsekutive Säulenexperimente soll damit der subsequente Transport von Radionukliden und Homologen aus dem Grundwasser in den C-Horizont und folgend in den B- und A-Horizont des RefeSol 01A untersucht werden. Das UNiSeCs-Modell soll für den Unterboden validiert werden. Die Interaktion von Se im ternären System mit Illit und extrahierter organischer Substanz wird unter Verwendung spezieller Kolloidanalytik (FFF-ICP, LC-OCD, Ultrafiltration) durchgeführt. Im Zusammenhang mit AP3 werden Topfexperimente mit *Phaseolus vulgaris* im RefeSol 01A zur Aufnahme von Se und weiteren Elementen geplant.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Windrich, A.-L. (2024). Untersuchung der Aufnahme von Selen in *Phaseolus vulgaris var. nanus* und der Interaktion von Selen mit Wurzelexsudaten. Bachelorarbeit, Biogeowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 (TRAVARIS) Teilprojekt: Remobilisierung von Radionukliden [...], Charakterisierung mikrobieller Diversität im Boden und die Beeinflussung durch Radionuklide und Wurzelexsudate	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 31.10.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 998.850,94 €
Projektleiterin: Dr. Beate Riebe	E-Mail-Adresse der Projektleiterin: riebe@irs.uni-hannover.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

AP-1a: Neben der andauernden Beprobung von Porenwasser aus den Lysimetern wurde zusätzlich je ein Bohrkern entnommen, dessen Auswertung noch aussteht. Das zuvor abgetragene Pu-238-Lysimeter wurde gereinigt, mit neuem Boden (RefeSol-01A) befüllt und für die Beaufschlagung mit Se-75-Tracer vorbereitet. Erste Vorversuche zur Sorption von Se-75 an RefeSol-01A unter wassergesättigten Bedingungen wurden mittels Bodendurchlaufssäulen durchgeführt. Darüber hinaus wurde mit der Plutonium-Analytik des abgetragenen Lysimeterbodens mittels α -Spektrometrie begonnen. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein Großteil der Aktivität von Pu-238 in den untersten Bodenschichten zu finden ist.

AP-2a: Proben (aus der Rhizosphäre und dem nicht durchwurzelten Boden) aus den ersten Tracerversuchen (I-125, Tc-99) mit Buschbohnen (*Phaseolus vulgaris*) in Rhizoboxen (siehe AP-3a) wurden sequenziert und analysiert. Die Analyse der Mikroorganismengemeinschaften, sowohl der bakteriellen, als auch die pilzlichen, zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontrolle und getracerten Proben, was vermutlich auf die geringere Aktivität der Radionuklide zurückzuführen ist. Die Analyse der Beta-Diversität unter Verwendung von Bray-Curtis-Distanzen ließ allerdings sehr wohl einen Unterschied in der Zusammensetzung der Gemeinschaften erkennen. Die tiefere Analyse der Sequenzinformationen ist jedoch noch nicht abgeschlossen.

AP-3a: Es wurden weitere Versuche mit Buschbohnen in Rhizoboxen durchgeführt. Bei einem zweiten Versuch zeigten sich ähnliche Ergebnisse wie im ersten Versuchsdurchgang (siehe HJB 2023-II), die Ergebnisse des dritten Versuchs stehen noch aus. Zusätzlich wurden Versuche zur Aufnahme von I-125 und Tc-99 in Tomaten- (*Solanum lycopersicum*) und Paprikapflanzen (*Capsicum annuum*) in Gefäßversuchen begonnen.

AP-2b: Für die Kultivierung der Tabak- BY-2 Suspensionszellen wurde eine Methode zur Zellzahl-Bestimmung mittels Messung der Optischen Dichte bei 600 nm (OD600) etabliert. Der Versuch mit der Eisen-Defizienz-Kultur zur Expressionssteigerung des ITR1-Transporters konnte so mit gleicher Zellzahl für alle Varianten wiederholt werden. Die Zellen wurden 24 h oder 48 h einem Am-243-Tracer ausgesetzt. Zellen, die unter Eisen-Mangel kultiviert wurden, zeigten eine zeitabhängige erhöhte Aufnahme der Am-243-Aktivität. So war die gemessene Am-243-Aktivität der Zellen nach 48 Stunden höher als nach 24 Stunden. Dies gibt einen Hinweis darauf, dass der IRT1-Transporter Am-243 transportieren könnte.

AP-3b: Analog zu AP-2b wurde eine Eisen-Mangel-Kultur mit *A. thaliana* Wildtyp- und IRT1-Knock-out-Pflanzen angelegt. Nach 3 Wochen Wachstum in hydroponischer Kultur erfolgte die Überführung jeweils der Hälfte der Pflanzen in eisenarmes Medium für weitere 7 Tage bis zur Zugabe des Am-243 Tracers. In Wildtyp-Pflanzen, die unter Eisen-Defizienz kultiviert wurden, konnte im Vergleich zur Kontrolle eine erhöhte Am-243-Aktivität in den Blättern festgestellt werden. Die IRT1-Knock-out-Mutanten wiesen deutlich geringere Aktivitäten in den Blättern auf. Dies deutet auf eine IRT1-Abhängige Aufnahme des Am243-Tracers in die Blätter von *A. thaliana* hin. An den Wurzeln konnten sehr hohe Aktivitäten bei Wildtyp- und Knockout-Pflanzen gemessen werden, nicht jedoch bei Pflanzen, welche unter Eisen-Defizienz kultiviert wurden. Vermutlich ist dort das meiste Am-243 als AmPO₄ kristallisiert und an den Wurzeln adsorbiert, anstatt aufgenommen zu werden.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP-1a: Die Versuche zur Sorption von Se-75 in Bodensäulen sollen wiederholt, sowie auf weitere RefeSol-Böden erweitert werden, um einen besseren Eindruck vom Verhalten von Se-75 im Boden unter wassergesättigten Bedingungen zu erhalten. Das neu befüllte Lysimeter soll nach

einer Phase des inaktiven Betriebs mit Se-75-Tracer beaufschlagt werden. Die Analytik des abgetragenen Lysimeterbodens, sowie der entnommenen Bohrkerne wird fortgeführt.

AP-2a: Weitere Experimente zur Untersuchung des Unterschieds der MO-Gemeinschaften in der Rhizosphäre und im nicht durchwurzelten Boden mit Paprika- und Tomatenpflanzen in Gefäßen werden durchgeführt, sowie Versuche mit Arabidopsis und Buschbohnen in Töpfen, um den Einfluss von Radionukliden auf die Wurzelexsudation zu untersuchen. Zur Beprobung der Wurzelexsudate von Pflanzen wird eine Hybridmethode (soil-hydroponic-hybrid method) angewendet. Weiterhin werden Proben aus verschiedenen Tiefen der Lysimeter (I-125, Tc-99, Am-243) hinsichtlich vorhandener Mikroorganismen untersucht. Nach DNA-Extraktion aus diesen Proben erfolgt eine Sequenzanalyse.

AP-3a: Nach der Aufzucht der Tomaten- und Paprikapflanzen erfolgt die Applikation von I-125- bzw. Tc-99-Tracer. Anschließend wird das weitere Wachstum bis zur Frucht ermöglicht, bis die Ernte der Pflanzen erfolgt.

AP-4a: Nachdem durch die Entnahme des Bohrkerns die Radionuklidverteilung in dem Lysimetern ohne den Einfluss von Pflanzenwurzeln untersucht werden kann, sollen die Lysimeter in der Folge mit Buschbohnen bepflanzt werden.

AP-1b: Beschaffung der Enzyme und Vektoren für die Klonierungsarbeiten. Durchführung erster Klonierungsarbeiten für den IRT1-Transporter.

AP-2b: Wiederholung des Eisen-Defizienz-Experiments (Biologisches Replikat 3).

Primer-Etablierung für qualitative Reverse-Transkriptase-PCR zur Expressionsanalyse. Antikörper-Etablierung für Proteinexpressionsanalyse mittels SDS-PAGE und Western Blot. Untersuchung physiologischer Konsequenzen der RN-Aufnahme mit Europium als inaktives Analogon zu Americium (Expressionsanalyse, Patch-Clamp-Versuche).

AP-3b: Wiederholung der Eisen-Defizienz-Experimente mit veränderter Aufnahme-Medien-Zusammensetzung, um AmPO_4 -Bildung zu verringern. Expressionsanalysen analog zu AP-2b. Untersuchung physiologischer Konsequenzen des Transporter-Knock-outs (Patch-Clamp-Versuche).

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) (siehe HJB 2023-II).

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 (TRAVARIS) TP: Einfluss der Bodenmikrobiologie auf den Radionuklid-Transfer und Verifizierung von Aufnahmemechanismen für Radionuklide in Pflanzen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 31.10.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 493.314,35 €
Projektleiter/-in: Dr. Susanne Sachs	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: s.sachs@hzdr.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

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

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

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

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

3. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

AP-1: Die Experimente zur Bestimmung des Einflusses von RN und Wurzelexsudaten (Äpfelsäure als Vertreter für Wurzelexsudate) auf die mikrobielle Diversität im Referenzboden wurden fortgeführt. Aus Refesol 01-A Bodenproben, die mit Uran (U; 50 μ M), Äpfelsäure (ein Vertreter für Wurzelexsudate; 1 mM) oder einem Gemisch aus U und Äpfelsäure über einen Zeitraum von 28 Tagen unter kontrollierten Bedingungen inkubiert wurden, extrahierte DNA wurde mittels Next Generation Sequenzierung der V4 Region des 16S rRNA Gens analysiert. Dabei zeigte sich, dass die bakterielle Zusammensetzung der unterschiedlich behandelten Bodenproben ähnlich war. Alle Proben zeigten die gleichen dominanten Phyla (~25% Actinobakterien, ~24% Proteobakterien, ~15% Firmicutes) und es wurden keine signifikanten Variationen beobachtet.

AP-2: Zur Isolierung bodenrelevanter Mikroorganismen wurde mit U kontaminierter Refesol-01-A Boden seriell verdünnt. Nach eintägiger Inkubation wurden Aliquote der Verdünnungen auf feste Nährmedien aufgebracht und unter kontrollierten Bedingungen inkubiert. Um Reinkulturen zu erhalten, wurden verschiedene Kolonien von den Platten entnommen und kultiviert bis sie in Form und Farbe homogen waren (Vereinzelungsausstrich). Die Identifizierung und Bestätigung der Einzelkolonien erfolgte durch DNA Extraktion und anschließender Sanger-Sequenzierung des 16S rRNA Gens mit dem Primer 16S-1513r. Im Ergebnis konnten so 26 unterschiedliche Mikroorganismen aus dem Refesol-01A Boden isoliert und kultiviert werden. Aus diesen wurde *Mesorhizobium* sp. DNB0012 für weitere Untersuchungen von dessen Wechselwirkung mit RN und Wurzelexsudaten ausgewählt.

AP-3: Die Untersuchung der Komplexierung von U(VI) mit Äpfelsäure (ÄS) mittels zeitaufgelöster laserinduzierter Fluoreszenzspektroskopie (TRLFS), isothermer Titrationskalorimetrie (ITC) und NMR-Spektroskopie wurde fortgeführt und thermodynamische Komplexstabilitätskonstanten für einen 2:1- und 2:2-U(VI)-ÄS-Komplexe bestimmt. Die Komplexe wurden mittels NMR-Spektroskopie über einen weiten pH- und Konzentrationsbereich hinsichtlich Struktur und Stöchiometrie charakterisiert. DFT-Berechnungen (density functional theory) unterstützten die Interpretation der NMR-Daten sowie die Spezieszuordnung. Ein Manuskript zur Veröffentlichung der Daten wird derzeit erarbeitet.

Im Rahmen eines Forschungspraktikums wurde die Komplexierung von Europium (Eu(III)) mit Bernsteinsäure als Stoffwechselprodukt von Pflanzen und Bakterien mittels TRLFS, ITC und NMR untersucht. Dabei wurde die Stöchiometrie sowie eine vorläufige Stabilitätskonstante des gebildeten 1:1 Eu(III)-Succinat-Komplexes (Eu(Suc)²⁺) bestimmt.

AP-5: Zur Verifizierung von Transportwegen für RN in Pflanzen wurden vom Projektpartner LUH-IfB Samen genetisch modifizierter *Arabidopsis thaliana* Pflanzen sowie vom Wildtyp (Col-0) bereitgestellt. Es handelt sich dabei um Samen, die eine T-DNA Insertion im Gen der Transporter GLR3.3, GLR3.6 oder IRT1 tragen und somit kein funktionsfähiges Protein ausbilden können. Eine Methode zur Kultivierung der Pflanzen in Hydrokultur wurde erarbeitet. Untersuchungen zur Aufnahme von Eu(III) als Analogon für dreiwertige Actinide und Calcium in GLR3.3 und GLR3.6 Mutanten im Vergleich zum Wildtyp wurden begonnen. Darüber hinaus erfolgte eine

Literaturrecherche zur Funktion der GLR3.3, GLR3.6 und IRT1 Transporter für die U(VI) und Eu(III) Aufnahme in Pflanzen.

AP-6: *Phaseolus vulgaris* Pflanzen (Buschbohne) in Hydrokultur wurden mit U(VI) bzw. Eu(III) (20 bzw. 200 μM) exponiert und die Aufnahme und Verteilung von U(VI) und Eu(III) in den Pflanzen bestimmt. Erwartungsgemäß ist der größte Anteil der Metalle in den Wurzeln akkumuliert, wohingegen nur wenig U(VI) und Eu(III) in Sprossachse und Blättern nachgewiesen wurde, was eine sehr geringe Transferrate zeigt. Die Zunahme des pH-Wertes in Lösung ist ein Anzeichen dafür, dass die Pflanzen Wurzelexsudate in die Lösung abgeben. TRLFS Messungen deuten auf eine zeitabhängige Veränderung der Eu(III)-Speziation in Lösung hin. Die Identifizierung der Spezies steht noch aus. Mittels Festphasenextraktion gelang es, Wurzelexsudate von *P. vulgaris* Pflanzen aus hydroponischen Lösungen zu extrahieren und anzureichern und mittels Hochdruckflüssigchromatographie zu detektieren.

4. Geplante Weiterarbeit

AP-1: Bestimmung des Einflusses von U und Äpfelsäure auf die mikrobielle Diversität im Referenzboden in Gegenwart einer höheren U-Konzentration

AP-2: Untersuchung der Wechselwirkung von *Mesorhizobium* sp. DNB0012 mit U und Äpfelsäure

AP-3: Fortsetzung der Arbeiten zur Eu(III)-Komplexierung mit Bernsteinsäure und Einbeziehung einer weiteren Dicarbonsäure im Rahmen einer Masterarbeit

AP-5: Anzucht von *A. thaliana* Mutanten in hydroponischer Kultur und Untersuchung der 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)-exponierter und nichtexponierter *P. vulgaris* Pflanzen mittels Non-Target Screening Analyse in Kooperation mit der AFIN-TS GmbH

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Vortrag:

R.-L. Linares-Jiménez: Does uranium and malic acid impact the microbial communities in Refesol 01-A soil. HZDR und TU Bergakademie Freiberg Mikrobiologie Seminar, 02.02.2024, Freiberg, Germany.

Poster, TRAVARIS Summer School, 08.-09.07.2024, Jena, Germany:

J. Dauwe et al.: Eu(III) speciation and transfer in the presence of root exudates – first steps.

R.-L. Linares-Jiménez et al.: Influence of soil microbiology on radionuclide transport and uptake into plants.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 (TRAVARIS) TP: Radioökologische Modellierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 31.10.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 324.912,58 €
Projektleiter/-in: Veronika Ustohalova	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: v.ustohalova@oeko.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

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

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

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

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

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

AP-übergreifend: Die Firma AFRY hat den Namen der ECOLEGO Software geändert in „AFRY Intelligent Scenario Modelling“. Jeder Nutzer musste sich verpflichten die Verwendung der Marke ECOLEGO einzustellen. Daher dürfen wir zukünftig den Namen ECOLEGO nicht mehr nutzen. Im Rahmen des TRAVARIS-Projekt-treffens im Januar wurden die aktuellen Ergebnisse ausgetauscht und weitere gemeinsame Arbeitsschritte vor allem mit Blick auf die Modellierung im Austausch mit UB-IUP konkretisiert. Im Februar 2024 wurde eine neue Kollegin für das Fachgebiet Radioökologie am Öko-Institut eingestellt und ist in das Projekt TRAVARIS seitdem involviert. Die Einführung in die Projektinhalte und die Modellierungsarbeiten konnten erfolgreich umgesetzt werden, so dass die neue Kollegin überwiegend selbständig an der Modellentwicklung mitwirken kann. Dadurch konnte Zeitlücke durch die Verzögerung im Projekt durch verspätete Doktorandenfindung bei Projektpartnern genutzt werden.

AP1: Der Austausch mit den Projektpartnern FSU-AnGeo und LUH-IRS betraf zu einem die Planung und Vorgehensweise bei den Pflanzenexperimenten und den Umlaufsäulenexperimenten, zum anderen die Umsetzung der Lysimeterexperimente mit Blick auf die Bepflanzung und die Wasserspiegelschwankungen. Wegen der deutlich verspäteten Findung einer Doktorandin am FSU-AnGeo sowie den aufgetretenen Schwierigkeiten bei der Umsetzung der Experimente konnte die modelltechnische Darstellung mit der Parametrisierung in „AFRY Intelligent Scenario Modelling“ (ehemals ECOLEGO, siehe oben) nicht konkretisiert werden.

AP2: Die Umsetzung der Arbeiten verschiebt sich aufgrund der erst vor kurzem erfolgten Findung der Doktorandin am FSU-AnGeo (siehe oben), welche sich mit der Modellierung des Transports und der Hysterese auf der Mesoskala (HYDRUS-3D, Bezug Lysimeterexperimente) befassen soll.

AP3: Im Austausch mit UB werden die Aufstellungen der Datenbank zu Kd-Wert-Variabilität mit Blick auf die Abhängigkeiten von bodenbezogenen Parametern in „AFRY Intelligent Scenario Modelling“ (großskaliger Ansatz) und PHREEQC (mikro- bis mesoskaliger Ansatz des UB-IUP) harmonisiert: Die in PHREEQC erzielte Ergebnisse sollen nach Aufbereitung in das Biosphärenmodell (Matrix der Parameterabhängigkeiten als „look-up-table Dependencies“) überführt werden können. Die Ergebnisse aus PHREEQC könnten voraussichtlich auch Informationen für die Ableitung Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktionen zu den Schwankungen der Parameterwerte liefern (Monte-Carlo Simulation). In Diskussion ist eine Option der Prüfung und Anwendung von PHREEQC-Subroutinen am Öko-Institut.

AP4: Die erste Version des numerischen Schemas (Finite-Volumen-Methode) für die Richards-Gleichung und die Konvektions-Dispersions-Gleichung wurde parallel durch die neue Mitarbeiterin geprüft und neue Rechengänge durchgeführt. Weitere Arbeiten im Rahmen dieses APs konnten aufgrund der Verzögerungen bei DoktorandInneneinbindung insb. am FSU-AnGeo

(Modellierung Mesoskala) und somit Verzug in messtechnischen Auswertungen nicht umgesetzt werden.

AP6: Modelteil "Dosisberechnung" befindet sich in Revision, es werden schrittweise Prüfberechnungen durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

AP-übergreifend: Follow-up zur neuen Version mit Fa AFRY erfolgt zunächst im Rahmen eines Online-Austausches. Aufgrund der ganzen Umstellung bei AFRY im Zuge der Namensänderung und Reorganisation bei AFRY (siehe weiter oben) planen wir einen Arbeitsaustausch zu der Software erst mit einer unsererseits aufgebauten fortgeschrittenen Version der radioökologischen Modellierung. Treffen zur Umsetzung der Modellierungsarbeiten im Rahmen der Sommer School in Jena ist eingeplant.

AP1: Informationsaustausch zu 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: Abstimmung der Vorgehensweise zur Modellierung des Einflusses der Porenmorphologie auf das Transportverhalten (HYDRUS-3D) mit FSU-AnGeo und die zugehörige Modellkonzeptentwicklung in AFRY Intelligent Scenario Modelling werden gestartet.

AP3: Geplant sind: Fortsetzung des Aufbaus der K_d -Matrizen, Aufstellung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen, Implementierung und Prüfberechnungen in AFRY Intelligent Scenario Modelling.

AP4: Prüfung des numerischen Schemas und Rechenläufe für die Modellteile Wasser- und Radionuklidtransport, Aufbau der Schnittstellen zu den Modelteilen „Pflanze“ und „Exposition“.

AP5: Vorbereitung des Konzeptes zum Modelteil „Pflanze“ in ECOLEGO in Anlehnung an die experimentellen Arbeiten der Projektpartner. Austausch zum Ablauf und Ergebnissen der Experimente am HZDR und des LUH-IfB.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 Prozessen (TRAVARIS) TP: Geochemische Modellierung der in den Teilprojekten A und B untersuchten Systeme	
Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 bis 31.10.2025	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 307.989,64 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Matthias Günther	E-Mail-Adresse des Projektleiters: matthias.guenther@mevis.fraunhofer.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm Teilprojekt E

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

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

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

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

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

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

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

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

Das im Projekt Trans-LARA erstellte Programm KdMultigrid, das zur Erstellung von Kd-Matrizen (AP-3, AP-6 und für die Modellierungen in Teilprojekt 4) verwendet werden soll, wurde grundlegend umstrukturiert und erweitert, sodass neben der Zusammensetzung der Bodenlösung jetzt auch die relevanten festen Bodenanteile (org. Substanz, Ton, Fe- und Al-hydroxide) variiert werden können. Dafür werden die jeweiligen Bindungsstellen bei Veränderung dieser Anteile jeweils nach den Vorgaben des UNiSeCs II – Modellierungsansatzes neu berechnet. Es werden dabei verschiedene Interdependenzen (z.B. Abhängigkeit der Illit-Bindungsstellen vom Gehalt an org. Substanz und Fe/Al-hydroxiden) und Sonderfälle (z.B. spezielles Modell für die Bindung von Tc an Fulvo- und Huminsäuren, pH und Ionenstärkenabhängigkeit der spezifischen Oberfläche der Fulvosäuren) berücksichtigt. Desweiteren können bei der Veränderung des Wassergehalts jetzt sowohl Verdunstung bzw. Verdünnung als auch einfacher Zu- bzw. Abfluss angenommen werden. Da geplant ist, das Programm der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen, wurde ein umfassendes Manual und eine vollständige Darstellung des UNiSeCs II - Modellansatzes erstellt.

Es konnten zwei Hilfskräfte eingestellt werden (ab Januar bzw. Juli 2024), von denen die eine sich mit der Relevanz von Bodenbakterien für die Nuklidpartitionierung beschäftigt und die andere mit einer Literaturrecherche zu Pflanzenexsudaten und insbesondere den benötigten thermodynamischen Konstanten (AP-4) begonnen hat.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Es soll eine weitere Hilfskraft zum Testen des KdMultigrid-Codes eingestellt werden. Sobald erste Bodendaten vorliegen, sollen sowohl für den Unterboden als auch für die Wurzelzone Modellrechnungen durchgeführt werden (AP-3 und AP-5). Insbesondere soll für die unterschiedlichen Radionuklide die Sensitivität des Kd-Werts auf die Konzentration von Wurzelexsudaten und die Zusammensetzung des Bodens ermittelt werden. Es soll auch die Bedeutung von Eisenhydroxidkolloiden für die Nuklidpartitionierung modelltechnisch erfasst 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: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 organischer Bodensubstanz, Mykorrhizosphärenprozesse, (kolloidaler) Schwermetall/Radionuklid-Austrag & Drohnenbefliegungen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.07.2023 bis 30.06.2026	Gesamtförderbetrag des Vorhabens: 993.460,91 €
Projektleiter/-in: Prof. Dr. Thorsten Schäfer	E-Mail-Adresse des/der Projektleiters/-in: thorsten.schaefer@uni-jena.de

1. Zielsetzung des Vorhabens

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

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

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

Für die weitere Koordination des Projektes wurden im März und Juni Online-Meetings mit allen Partnern abgehalten. Im Mai wurde ein Meeting in Kombination mit einer Vor-Ort-Begehung auf der Halde Beerwalde durch die Wismut GmbH organisiert.

- (AP 1) Auf der Halde Beerwalde wurde der Mykorrhizierungsgrad und die Morphotypen im Vergleich der Alt- und Neuabdeckung an Eichen analysiert sowie mit Bodenproben und Eichen-Setzlingen Mikrokosmen-Experimente zum Einfluss der Mykorrhiza auf die Wasserverteilung und den Erosionsschutz gestartet.
- (AP 2) Auf der Halde Beerwalde und dem Testfeld Gessenwiese wurden Bodenproben zur Analyse des C/N-Gehaltes und Überprüfung der Bodenbildung entnommen und analysiert. wurden analysiert.
- (AP 3) Am Standort Beerwalde wurden Baumbohrkerne von Eichen auf der Alt- und Neuabdeckung zur Analyse (LA-ICP-MS, C-Gehalt, Elementgehalt) entnommen und Bodenproben an den jeweiligen Bäumen gewonnen und für Totalaufschluss und Sequentielle Extraktion vorbereitet. Fluoreszenzmessungen zur Bestimmung der Photosyntheseleistung sowie eine Vegetationskartierung wurden auf zwei Biomonitoringflächen der Halde Beerwalde durchgeführt.
- (AP 4) Hydrogeochemische Stichtagsbeprobungen zum Monitoring von physikochemischen Parametern, Elementkonzentrationen, DOC-Konzentrationen und kolloidalen Phasen, und zum Einfluss der *Streptomyces*-Inokulation wurden für Grund- und Porenwässer auf der Gessenwiese durchgeführt sowie Sickerwasser in Beerwalde entnommen.
- (AP 5) Eine Verwertbarkeitsstudie der gewonnenen Biomasse wird im Hinblick auf die Nutzung in der Zellstoffindustrie oder als Energieträger sowie die Herstellung und Nutzung von Biokohle mit den Partner AFRY und DBFZ beleuchtet.
- (AP 6) Konferenzteilnahme an der 29. FH-DGGV Tagung, des International Society of Root Research 12th International Symposium (finanziert durch die Graduiertenschule JSMC) und Teilnahme an Seminaren, Workshops und Mentorenprogrammen zur Weiterqualifizierung.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- (AP 1) Weiterführung der regelmäßigen Probenahmen und hydrogeochemischen/mikrobiologischen Untersuchung von Sickerwässern. Vorbereitung eines Tracerversuchs in Lysimetern auf der Gessenwiese. Der Einfluss der Mykorrhizierung auf die Wasserverfügbarkeit wird weiter in Mikrokosmen untersucht.
- (AP 2) Auswertung der C/N-Gehalte von Bodenproben und Vergleich mit C/N-Konzentrationen im Porenwasser, Untersuchung der Bodenatmung und Mykorrhizierung in Haldensubstraten in Bezug auf das Alter der Vegetation.
- (AP 3) Durchführung und Auswertung der Analysen der Baumbohrkerne (Aufschlüsse, Extraktionen, LA-ICP-MS) inkl. Methodenvergleich, Fluoreszenzmessungen und Vegetationskartierung auf weiteren Biomonitoringflächen mit unterschiedlicher Exposition sind geplant. Vorbereitung der nächsten Biomasse-Ernte.
- (AP 4) Weiterhin regelmäßiges (monatliches/saisonales) hydrogeochemisches Monitoring von Grund- und Porenwasser auf den Testflächen. Der Einfluss der Mykorrhizierung auf den Erosionsschutz wird in Mikrokosmen untersucht.
- (AP 5) Finalisierung der Verwertungsstudie.
- (AP 6) Teilnahme/Präsentation der Ergebnisse auf dem 22. Jenaer Sanierungskolloquium sowie Weiterqualifizierung der Mitarbeitenden.

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

Nettemann S (2024) Mobility of trace elements associated with natural nanoparticles in acid mine drainage influenced pore- and groundwaters. Dissertation, 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. 29. Konferenz der FH-DGGV. Aachen, 20. – 23.03.2024.

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. Posterbeitrag. International Society of Root Research 12th International Symposium. Leipzig, 2. – 7. Juni 2024.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 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 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

Am 15.05.2024 fand ein Projekttreffen aller Partner in Ronneburg mit einer Befahrung der Halde Beerwalde statt. Das Treffen diente der Präsentation der Arbeitsstände, dem Erfahrungsaustausch und der Gewährleistung der Übertragbarkeit der Ergebnisse sowie der weiteren fachlichen Abstimmung.

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

- (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 Beprobungsstandorte für weitere Untersuchungen des Projektpartners FSU (Bodenproben, Mykorrhizierungsgrad, Morphotypen, Mikrokosmen-Experimente zum Einfluss der Mykorrhiza) zum Vergleich der Alt- und Neuabdeckung an Eichen recherchiert.
- (AP 2) Die Daten zur langfristigen Klimaentwicklung am Standort Ronneburg wurden der FSU zur Verfügung gestellt. Zur standortspezifischen Vegetation und Bodenentwicklung wurden im Rahmen der Auswertung der historischen Daten Vor-Ort-Befahrungen auf der Halde Beerwalde mit den Projektpartnern durchgeführt.
- (AP 3) Im 1. Quartal wurden vorhandene Biomonitoringergebnisse aufgearbeitet und den Projektpartnern zur Verfügung gestellt. Im 2. Quartal 2024 begannen Vegetationsaufnahmen am Untersuchungsobjekt Halde Beerwalde in Zusammenarbeit mit der FSU Jena. Die Entnahme von Baumbohrkernen an Eichen auf der Alt- und Neuabdeckung zur Analyse (LA-ICP-MS, C-Gehalt, Elementgehalt) und zur Bodenprobenahme wurde mit den Projektpartner FSU vorbereitet.
- (AP 4) Von der Wismut GmbH wurde die Probenahme von Sickerwasser auf der Halde Beerwalde für die Analysen durchgeführt und diese für spezielle Untersuchungen bereitgestellt.
- (AP 6) Studierende/Doktoranden der FSU Jena wurden zum Thema Klimamodellierung fachlich umfassend betreut und qualifiziert.

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 aufgenommen.
- (AP 3) Neue Kartierungsdaten aus forstlichen Erhebungen zur Vegetationsentwicklung werden aufbereitet und den Projektpartnern zur Verfügung gestellt.
- (AP 6) Die Wismut GmbH bereitet am Standort Beerwalde organisatorisch das studentische Praktikum vor. In dessen Rahmen erfolgen im August 2024 fachspezifische Einweisungen zu den bestehenden Lysimeterversuchsflächen und der Wurzelschachanlage einschließlich der fachlichen Anleitung zu den Wurzeluntersuchungen.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

keine

6. Berichte und Veröffentlichungen

keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	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 Standortsspezifische Sukzession und Bodenentwicklung
- AP 3 Charakterisierung der oberirdischen Biomasse
- AP 4 Monitoring der Bodenerosion
- AP 5 Übertragbarkeit der Ergebnisse
- AP 6 Weiterqualifizierungsprogramm & Outreach

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

Im Berichtszeitraum wurden im Januar und Juni Online-Meetings mit allen Partnern abgehalten. Im Mai fand ein Meeting in Kombination mit einer Vor-Ort-Begehung auf der Halde Beerwalde statt (Organisation durch Wismut GmbH).

Weiterhin wurde im Zusammenhang mit der Erstellung der Verwertbarkeitsstudie am 23.06.24 ein Projekttag im AFRY-Büro Dresden mit Vertretern mehrerer AFRY-Standorte sowie Herrn Trusheim (FSU Jena, Student im Masterstudium) durchgeführt.

(AP 5) Es wurde mit der Erarbeitung und Bewertung von Nutzungspfaden für die stoffliche und energetische Verwertung von Biomasse aus den Bergbaufolgegebieten (Verwertbarkeitsstudie) begonnen, wobei der Schwerpunkt auf der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit eines Einsatzes in der Zellstoff- und Papierindustrie liegt. In diesem Zusammenhang erfolgt auch die Teil-Betreuung einer an der FSU Jena angesiedelten Masterarbeit aus dem Bereich Umwelt- und Georessourcenmanagement (vorgesehene Bearbeitungsdauer 15.04.-15.10.2024). AFRY übernimmt auch die Tätigkeit als Zweitgutachter der Masterarbeit.

(AP 6) AFRY nutzte interne und externe Kommunikationskanäle (AFRY-Newsletter, soziale Medien wie „LinkedIn“) sowie Teilnahmen an Messen mit eigenem Stand und Networking-Veranstaltungen (Jahrestagung des Vereins der Zellstoff- und Papier-Chemiker und -Ingenieure „ZELLCHEMING“ sowie „PTS-Netzwerktag“ der Forschungsstiftung der Papierindustrie) zu Dissemination und Diskussion der Projektaktivitäten.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

(AP 5) Finalisierung der Verwertbarkeitsstudie.

(AP 6) Vorbereitung und Planung der Maßnahmen entsprechend des Projektantrages für die Themen mit AFRY-Beteiligung im Bereich „Weiterqualifizierung und Outreach“.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

/

6. Berichte und Veröffentlichungen

/

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9448A
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: actimondo eG	
Vorhabenbezeichnung: 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	
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 revisions sichere 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 Endlagerdokumentation 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)

Da das Projekt K.I.S.S. erst im Mai gestartet ist, wurden bisher noch keine Meilensteine des Vorhabens erreicht. In Modul 1 wurde damit begonnen das Konzept für den Prototypen des Digital Smart Campus zu entwickeln. Des Weiteren werden zurzeit die Anforderungen an die Wissenspools definiert. In Modul 2 wurden mit den Verbundpartnern die Stakeholder-Map und darauf aufbauend das Value-Flow-Model erstellt. Hiermit wurden die drei relevantesten Verfahren identifiziert, die als Grundlage für den Prototypen dienen. In Workshops mit Stakeholdern wird im Juli das bestehende Konzept durchgesprochen, um ein Business-Process-Map zu erstellen. Dieses dient als Grundlage für die Digitale Plattform für Genehmigungsverfahren. In Modul 3 wurde damit begonnen die Anwendungsfelder für den Einsatz der KI-Lösung zu identifizieren.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Bis Ende 2024 soll das Konzept sowie der Prototyp für den Digital Smart Campus als Grundlage für die Community-Plattform stehen (M1.1). Außerdem wird parallel das Konzept für die mobile Trainingsstation entwickelt (M1.6). In Modul 2 soll bis Ende 2024 das Technologie-Scouting und die Marktpotenzial-Analyse abgeschlossen sein (M2.1). Für das Modul 3 sollen im zweiten Halbjahr 2024 die geeigneten Anwendungsfelder für die KI-Lösung identifiziert werden (M3.1).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Posterbeitrag auf der Kerntechnik24 in Leipzig (11.-13.06.2024). Vorstellung des Verbundvorhaben K.I.S.S. durch Dr. John Kettler.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9448B
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: GRS, Schwertnergasse 1, 50667 Köln	
Vorhabenbezeichnung: VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.) 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 Endlagerdokumentation 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 das Kick-Off Meeting bei der GRS am Standort Köln statt. Mitarbeitende aus allen APs und Modulen haben an diesem Treffen teilgenommen.

Modul 1: Monatliche Arbeitstreffen finden seit Juni 2024 in diesem Modul statt. Erste Anforderungen wurden ermittelt, Unterlagen gesichtet und erste Diskussionen geführt. Erste Entwürfe wurden erstellt und die Anforderungen ausgewertet. Es wurde begonnen eine Mindmap zum Digitalen Campus zu erstellen.

Modul 2: Aufgrund des engen Zeitplans finden bereits seit dem 14. Mai 2024 wöchentliche Arbeitsmeetings in diesem Modul statt. Die Aufgabe der GRS ist hierbei die regulatorischen Anforderungen an Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren darzulegen und derart aufzubereiten, dass sie in eine digitale Plattform überführt werden können.

Modul 3: In diesem Modul wurden erste Absprachen zwischen den Verbundpartnern getroffen, wie die im AP 3.1 anstehende Anforderungsanalyse durchgeführt werden könnte. Erste Arbeiten zum Test verschiedener Open Source LLMs (Large Language Models) wurden durchgeführt. Basis dafür sind öffentlich zugängliche GRS-Berichte (> 800 Stk). Eine Anforderung an ein entsprechendes KI-System ist ein Rechtemanagement. Hierzu wurden erste Anforderungen ermittelt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Modul 1: Weiterermittlung der Anforderungen. Die Sichtung der Unterlagen wird fortgeführt und die Auswertung der Anforderungen vorangetrieben. Nächstes Ziel ist die Fertigstellung der Mindmap zum Digitalen Campus.

Modul 2: Im Juli 2024 wird ein erster Workshop mit den identifizierten Stakeholdern abgehalten. Je nach Teilnehmerzahl und Abdeckung der Stakeholdergruppen wird ein zweiter Workshop angestrebt. Die Ergebnisse aus diesem Workshop sollen direkt in die Erstellung eines Business Process Model (BPMN) einfließen und die Grundlage für die Anforderungsanalyse an die zu erstellende Plattform bieten.

Modul 3: Die Anforderungsanalyse für das Prozessführungstool soll begonnen und durchgeführt werden. Verschiedene Tests zu Verfahren zur Vorauswahl von Kontext für die LLMs sollen durchgeführt werden. Außerdem sollen Spezifikationen der Anforderungen an ein Rechtemanagement im Prozessführungstool erarbeitet werden.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9448C
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: FIR e. V. an der RWTH Aachen Campus-Boulevard 55 52074 Aachen	
Vorhabenbezeichnung: VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.) 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 Fachmodule (APs) 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

Trainingsmodule 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 reversionssichere 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 (KI-gestützte Prozessführung für den Rückbau) konzentriert sich das FIR auf die Recherche des Stands der Technik im Anwendungszusammenhang. Außerdem unterstützt das FIR methodisch die GRS 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 Informationstechnologiemanagements 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 Programmierfähigkeiten zur

Realisierung des Demonstrators, insbesondere der LLM-Entwicklung. Hierzu zählt die methodische 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)

Für die inhaltliche Ausgestaltung des AP 1 nahm das FIR aktiv an Gesprächen zu Anpassungen der Vorhabensbeschreibung teil. Das FIR diskutierte relevante und notwendige Inhalte für AP 1 gemeinsam mit den Verbundpartnern in einem zwei-wöchentlich stattfindenden Jour-Fixe. Im Berichtszeitraum wurden außerdem bereits erste Arbeiten zum AP 1.1 durchgeführt. Hierfür wurde eine umfassende wissenschaftliche Recherche zur Identifikation und Bewertung didaktischer Lehr- und Lernkonzepte durchgeführt. Der Fokus lag dabei auf digitalen und digital unterstützten Fortbildungsmethoden, wie zum Beispiel Web-Based-Trainings, E-Learning Nuggets, Podcasts oder Virtual Reality (VR) Training. Letzteres bietet beispielsweise den Vorteil einer hohen Engagement-Rate und durch realitätsnahe Simulationen einen höheren Lernerfolg und gefahrloses Üben von schwierigen Situationen.

Für das AP 2 koordinierte das FIR aktiv die Termine und nahm an den wöchentlichen Jour-Fixe-Meetings teil. Darüber hinaus wurden die Verbundpartner in externen Meetings über das Vorgehen informiert und Grundlagen zum Plattformaufbau ausgetauscht, um eine optimierte Teilnahme mit dem notwendigen Grundverständnis zu gewährleisten. In den Jour-Fixe-Meetings übernimmt das FIR die Moderation und leitet die wöchentlichen Gespräche. Im Rahmen von AP 2.1 stellte das FIR ein methodisches Vorgehen vor, das erläutert, wie das weitere Vorgehen systematisch zu gestalten ist, um AP 2.1 erfolgreich durchzuführen.

Zunächst wurden die relevanten Stakeholder im Rückbauprozess identifiziert und anschließend mit verschiedenen Rollen im Business-Ökosystem verknüpft. Daraufhin wurden gemeinsam mit den Verbundpartnern Value-Stream-Maps für die Rückbauverfahren entwickelt. Zusätzlich wurden Rollenprofile für die Akteure im Ökosystem erstellt und vervollständigt. Im nächsten Schritt wurden erste Entwürfe von Business-Process-Maps für die verschiedenen Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren erstellt. Um alle relevanten Prozesse zu erfassen, wurde außerdem eine Prozesslandkarte erstellt, die alle relevanten Unterprozesse in den Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren abbildet. Die erarbeiteten Ergebnisse werden in einem Workshop mit den relevanten Stakeholdern validiert und ergänzt. Dazu hat das FIR einen Workshop vorbereitet und die Terminierung mit den verschiedenen Stakeholdern abgestimmt und koordiniert.

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.

In Abstimmung mit der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) wurde die initiale Herangehensweise zur Anforderungsermittlung abgestimmt. Diese Abstimmungen waren entscheidend, um die Grundlagen und Ziele der Anforderungsermittlung zu definieren. Im AP 3.1 unterstützt das FIR methodisch bei der Anforderungsermittlung. Zu diesem Zweck wurde mit einer wissenschaftlichen Recherche angefangen, um für dieses Vorhaben die besten Methoden und Ansätze für die Anforderungsermittlung zu identifizieren. Ziel ist die Erstellung eines Dokuments, das die Anforderungsermittlung sowie deren Teilschritte und Definitionen

beschreibt. Der derzeitige Fortschritt umfasst dem ersten Entwurf der Methodik und den Beginn der Dokumenterstellung.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Die Weiterarbeit in AP 1 wird in Abhängigkeit der vorgenommenen Änderungen der Vorhabensbeschreibung stattfinden. Folglich wird das FIR zunächst an Konzeption und Design der mobilen Trainingsstation sowie des Aufbaus des Digital Smart Campus in AP 1.1 und AP 1.4 mitwirken. Hierzu wird in AP 1.7 eine umfassende Technologieanalyse durchgeführt, um potenzielle VR/AR-Technologien für die mobile Trainingsstation identifizieren zu können.

Im kommenden Berichtszeitraum wird im AP 2 weiter an den Aufgaben des Teilpakets AP 2.1 gearbeitet. Zunächst wird ein Workshop durchgeführt, um die bisher erarbeiteten Ergebnisse zu validieren und gegebenenfalls zu ergänzen. Anschließend erfolgen Interviews, um die Anforderungen an die Plattform zu erheben und ein Ziel-Ökosystem zu konzipieren. Basierend auf den Anforderungen der relevanten Stakeholder wird das zentrale Wertversprechen der Plattform erarbeitet und detailliert dargestellt.

Nach der Ausarbeitung des zentralen Wertversprechens wird die digitale Plattform im Rahmen von AP 2.1 weiter detailliert. Daraufhin wird in AP 2.2 eine technologische Bewertung der bestehenden Systeme vorgenommen. Dies umfasst die Entwicklung einer Systematik zur Bewertung der Plattform-Technologien und die Durchführung einer Potenzialanalyse für angrenzende Märkte. Schließlich werden in AP 2.3 konkrete Use-Cases beschrieben, um die Anwendungsfälle der Plattform zu illustrieren und deren praktische Relevanz aufzuzeigen.

Für den kommenden Berichtszeitraum sind weitere Aktivitäten in AP 3 vorgesehen. Insbesondere werden die Arbeiten in AP 3.1 weiter vorangetrieben und die Dokumenterstellung abgeschlossen. Darüber hinaus erfolgt methodische Unterstützung bei Rückfragen.

Neben der methodischen Unterstützung wird in AP 3.1 ein Datenmodell erstellt. Es werden erste Tätigkeiten zur Datenvorbereitung der durch GRS identifizierten Dokumente für die Verwendung in Sprachmodellen durchgeführt sowie die Recherche und Beschreibung des Stands von Wissenschaft und Technik im Anwendungszusammenhang.

Nach Abschluss von AP 3.1 folgen die Tätigkeiten aus AP 3.2, wie beispielsweise die Bewertung der geeigneten Sprachmodelle für die Anforderungen und die Detaillierung der Systemarchitektur von GRS.

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

Im Rahmen von AP 3.1 ist geplant, Kontakt zur TU Dresden aufzunehmen, um die Übertragbarkeit von Erkenntnissen aus Referenzprojekten des Projektpartners TU Dresden zu evaluieren.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum wurden in allen drei Modulen (AP's) keine Berichte und Veröffentlichungen vorgenommen.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9448D
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Forschungszentrum Jülich GmbH, 52425 Jülich	
Vorhabenbezeichnung: VP: VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.) 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 und 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 Endlagerdokumentation 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 Arbeitsprogramm Punkten)

- Vorbereitung der Trainingsinhalte zu 1) der internationalen Kernmaterialüberwachung (Grundlagen, Safeguards für Zwischenlager, Safeguards im Rückbau) und 2) Versuchen zum Strahlenschutz, Actinidentrennung, Trennung von Uran und Strontium/Yttrium-90 (AP1.1)
- Abstimmung mit Projektpartnern im Kick-off (Köln, 5.6.) und weiteren MS Teams Besprechungen

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

- Fortsetzung der Arbeiten unter 3.
- Entwicklung von geeigneten Szenarien für das Safeguards-Training (z.B. Safeguards-Inspektion in einem Zwischenlager)

5. Bezug zu anderen Vorhaben

Bislang keiner.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bislang keine.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9448E
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Technische Universität Dresden – Center for Open Digital Innovation and Participation (CODIP)	
Vorhabenbezeichnung: VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.) 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

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 Ziel des Teilprojekts der TU Dresden (TUD) ist die Unterstützung der Entwicklung einer hybriden und innovativen Lernplattform zur Schulung von Fachkräften im Strahlenschutz und deren Vernetzung in Communities. Diese Plattform, ergänzt durch moderne digitale Technologien wie AR/VR und eine mobile Trainingsstation, soll die Wissensvermittlung und Kompetenzentwicklung im Rückbau kerntechnischer Anlagen optimieren. Die gewonnenen Erkenntnisse werden abstrahiert und sowohl auf die Praxis der Ausbildung von Studierenden des beruflichen Lehramts als auch auf weitere Fachkräfte für Arbeitssicherheit übertragen. Weiterführend werden Ansätze zur anwendungsspezifischen Integration von KI-Technologien exploriert und prototypisch erprobt, beispielsweise in Form von Conversational Agents in der Lernplattform oder situierter KI in der betrieblichen Wissenskooperation.

2. Durchführungskonzept/Arbeitsprogramm

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

- 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.
- 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.

- 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 Endlagerdokumentation optimiert werden.

Jedes Modul hat für sich einen eigenen Anwendungsschwerpunkt, wobei die Synergie im abgestimmten Einsatz der Basistechnologien bzw. Softwarelösungen begründet ist. Die TUD ist insbesondere in die Entwicklungen in Modul 1 und Modul 3 eingebunden, fokussiert den Bereich der Community-Entwicklung und steht als Forschungspartner rund um Qualifikation (betreffend pädagogische Fachkräfte im Bereich beruflicher Bildung und betrieblichen Lernens sowie Promovierende rund um bildungstechnologische Themen) zur Verfügung.

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

Zur Unterstützung der Entwicklungsprozesse hat das Team der TUD Anforderungen an die Community sowie an die Virtual Reality (VR)- und Augmented Reality (AR)-Umgebungen entwickelt (siehe Abbildung TUD 1). Diese Anforderungen wurden anschließend mit den Projektpartnern diskutiert und detailliert (AP 1.1; 1.3; 1.4). Darauf aufbauend wurden Vorschläge für zentrale Use Cases erarbeitet (siehe Tabelle TUD 1). Diese sollen im weiteren Verlauf die gemeinschaftliche Ableitung von Gestaltungsdeterminanten unterstützen, indem sie durch vereinfachte schematische Darstellungen ein gemeinsames Verständnis unter den Projektpartnern fördern und eine Fokussierung auf Kernnutzungsszenarien ermöglichen.

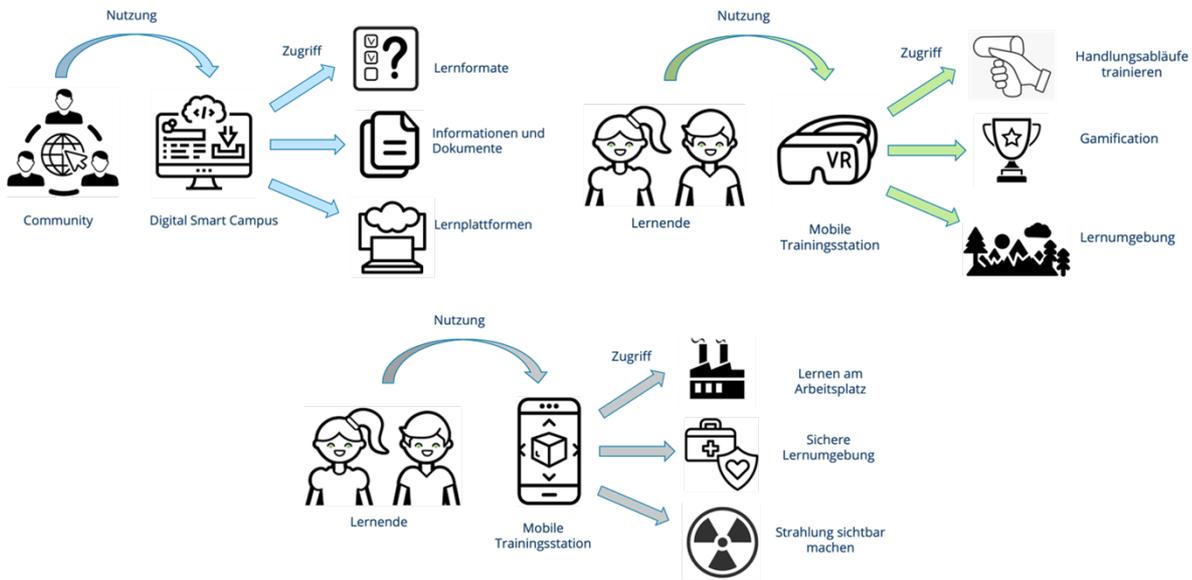


Abbildung TUD 11: Anforderungen an Digital Smart Campus und VR & AR Anwendungen in der mobilen Trainingsstation

Tabelle TUD 1: Vorschlag von zu fokussierenden Use Cases

Use Case	Ziel	technische Umsetzung
1. Dokumentensuche von Mitarbeitenden	Schneller Zugriff auf Informationen	Einfache Navigation, treffsichere Auswahl von Informationen/ Dokumenten, gutes Sprachverständnis
2. Fachkräfte wollen sich untereinander austauschen	Informationsaustausch, soziale Eingebundenheit	Community-Plattform, Gruppenbildung, Profile, posten, liken, Stories, Chatten, aufeinander beziehen
3. Mitarbeitende wollen sich in einer Umschulung neue Inhalte aneignen	Lernen von neuen Inhalten und Abläufen	Didaktische Gestaltung, Lerninhalte, Aufgaben, Wissenstests, Lernbegleitung, Vorstrukturierung
4. Jobsuchende wollen sich von einem Branche begeistern lassen	Exploration, WOW-Erlebnis	Aufmerksamkeit gewinnen, Gamification, Spielerlebnis erzeugen, Punkte sammeln, viele Umgebungen zeigen
5. Einsteiger wollen das Arbeitsumfeld kennenlernen	Internationalisierung von Handlungsabläufen	VR Umgebung, mit Interaktionsmöglichkeiten, integrierte Schutzmaßnahmen, 360° Arbeitsumfeld zeigen, Handlungsaläufe trainieren
6. Einsteiger wollen Sicherheitsmaßnahmen im geschützten Raum üben	Gefahrenfelder aufzeigen, Sicherheitszonen sichtbar machen	AR Umgebung, integrierte Schutzmaßnahmen, Handlungsabläufe trainieren, Strahlung sichtbar machen

Des Weiteren erfolgte die Unterstützung bei der Restrukturierung der Arbeitspakete um Lernziele in den Gestaltungsprozess mit aufzunehmen.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammepunkten)

Die weiteren Arbeiten werden gemäß der AP-Planung vorgenommen. Dazu werden insbesondere die entwickelten Kernnutzungsszenarien mit den Projektpartnern weiter ausgearbeitet, um die Grundlage für den Abschluss der Konzeptionsphase und einen reibungslosen Übergang in die Entwicklungs- und Erprobungsphase zu schaffen. Die an der TUD verantwortete SIFA-Community bietet bereits eine solide technologische Grundlage, auf der Fachkräfte geschult werden und effektive Methoden für den tätigkeitsbezogenen Informationsaustausch erlernen. Die in dieser Community gewonnenen Erkenntnisse sollen transferiert und technische Vernetzungspotenziale ausgelotet werden (AP 1.1; 1.3; 1.4).

Des Weiteren fand zur Vorbereitung des Technologie-Scoutings für die Basistechnologie und den Systementwurf (08/24 - 04/25) ein Vernetzungstreffen mit dem Projekt Tech4CompKI an der TUD statt (siehe Punkt 5), um Best Practices für den Einsatz von Conversational Agents zu identifizieren und erste Transferpotenziale sowie technische Gestaltungsanforderungen zu übertragen (AP 3.2).

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

Es erfolgte eine Vernetzung mit dem BMBF-geförderten Vorhaben Tech4CompKI – Mentoring-Unterstützungswerkzeuge, organisationale Implementierung und Wirksamkeit an der TU

Dresden, um Erfahrungen aus dem Einsatz von Conversational Agents in innovativen Lernumgebungen zu reflektieren und Transferpotenziale zu eruieren.

6. Berichte und Veröffentlichungen

Über diesen Bericht hinaus erfolgte bisher noch keine Veröffentlichungen.

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9448F
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Advanced Nuclear Fuels GmbH, Am Seitenkanal 1, 49811 Lingen	
Vorhabenbezeichnung: 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	
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/der Projektleiters/-in: 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 Online-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 reversionssichere 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 Endlagerdokumentation 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 Lernkonzepts/-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.

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

Es wurden in mehreren Kick-Off und Auftaktveranstaltungen die gesamtheitlichen Ziele, Rahmenbedingungen und Verantwortlichkeiten abgesteckt, definiert und koordiniert, um die späteren Entwicklungen im Verbundprojekt effizient und zielgerichtet zu entwickeln. Hierzu wurde in Präsenz (GRS in Köln) aber auch digital die einzelnen (Teil-)Arbeitspakete abgestimmt, organisiert und terminiert. Des Weiteren wurde eine gemeinsame Arbeitsplattform eingerichtet. Im AP1.1 wurde seitens des Competence.hubs ein erstes gesamtheitliches Lernkonzept begonnen zu entwickeln. Das Grobkonzept sieht vor, Lerninhalte nach Stand der Wissenschaft und Technik für die Generation Z zu designen. Hierbei spielen Aspekte wie Gamification, on-demand Verfügbarkeiten und E-Learning Inhalte eine entscheidende Rolle. Lernpsychologische Aspekte wie Aufmerksamkeitsspanne, Kollaboration, Visualisierung und Megatrends sind ebenfalls wichtige Attribute, will man eine hohe Akzeptanz bei der Zielgruppe erreichen. Diese Aspekte wurden mit Lernpsychologen und durch das Studieren von wissenschaftlichen Papern identifiziert.

Hinzu wurden Anforderungen an eine digitale Lernplattform definiert, um sie später an das Digital Smart Campus anschließen zu können. Des Weiteren wurden im AP1.2 erste Inhalte für die späteren Kurse und Trainingsinhalte definiert, wie z.B.: „Must-knows“ der Kerntechnik für Neuankommlinge (kernphysikalische Grundlagen, Uranabbau, Anreicherung, Kraftwerkstechniken, praktischer Strahlenschutz, nationales und internationales Recht, Rückbau und Endlagerung, nukleare Sicherheitskultur, Human-Performance-Tools uvm.). Auch wurden eine erste Zielgruppenanalyse (Persona) durchgeführt.

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogramm Punkten)

Im weiteren Verlauf werden die Arbeitspakete AP1.1 und AP1.2 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

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Noch keine

Berichtszeitraum: 01.01.2024 bis 30.06.2024	Förderkennzeichen: 15S9448G
Zuwendungsempfänger/Auftragnehmer: Dornier Nuclear Services GmbH	
Vorhabenbezeichnung: VP: Kompetenz. Innovation. Sicherheit. Strahlenschutz. Effizientes Rückbau- und Genehmigungsmanagement (K.I.S.S.) 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:

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

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 die Identifikation von geeigneten Trainingsszenarios 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 reversionssichere 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 Endlagerdokumentation 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 koordiniert die Bereiche Informationsmanagement und Definition von Transferangeboten. Ziel ist es, Kommunikationsschnittstellen zwischen den beteiligten Unternehmen und Modulen zu koordinieren und Transferoptionen in Wissenschaft und Praxis aktiv zu fördern.

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

Modulübergreifend:

- Teilnahme an regelmäßigen JF und Projekttreffen

Modul 1:

- Beteiligung an der Konzeptentwicklung für VR-Trainings szenarien der mobilen Trainingsstation

Modul 2:

- QS der von actimondo, fir und GRS ausgearbeiteten Stakeholder-Profile, Value Flow Models und Business Process Maps

Modul 3:

- Bereitstellung der typischen Schritte im Demontage- und Freigabeprozess mit Angabe der erforderlichen Datenerfassung
- Bereitstellung einer Liste von ersten Anwendungsfällen, bei denen eine Unterstützung durch KI im Demontage- und Freigabeprozess denkbar wären

Modul 4:

- Konzeptentwicklung für die Durchführung von Summer Schools

4. Geplante Weiterarbeit (mit Referenz zu Arbeitsprogrammpunkten)

Modul 1

- Konkretisierung der Bedarfs- und Zielgruppenanalysen für die mobile Trainingsstation
- Festlegung und Definition von VR-Trainings szenarien
- Konzeptentwicklung für die Einbettung der VR-Trainings in ein geeignetes didaktisches Konzept

Modul 2, AP 2.1 (Anforderungsanalyse und Plattformkonzept):

- Mitwirkung an einem gemeinsamen Workshop mit Stakeholdern
- Bei Bedarf Mitwirkung an weiteren Workshops mit Stakeholdern
- QS des von fir und actimondo entwickelten Interviewleitfadens
- Mitwirkung bei der Durchführung von Experteninterviews
- Unterstützung bei der Auswertung der Workshops und Experteninterviews

Modul 2, AP 2.3 (Pilotierung der Plattformlösung):

- Test und Validierung der Lösungsvorschläge und Plattformansätze
- Mitwirkung an der Ausgestaltung der Plattform

Modul 3

- Ausarbeitung von Anwendungsfällen der KI-Unterstützung im Demontage- und Freigabeprozess mittels LLM-Methode
- 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

Modul 4:

- Kalkulation, Vorstellung der Optionen und gemeinsame Festlegung eines Summer-School-Programms mit den Projektpartnern

5. Bezug zu anderen Vorhaben

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

6. Berichte und Veröffentlichungen

Bisher keine.

**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