

Vorstellung der Forschungsergebnisse zur Entwicklung eines Beprobungssystems für nicht zugängliche Kunststoffrohrleitungen (Projekt Bero, FKZ: 15S9444A+B)

M.Sc. Michael Pfau, M.Sc. Felix Gack, Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes, Karlsruhe/DE

1 Einleitung und Zielsetzung Projekt Bero

Durch den von der Bundesregierung beschlossenen Ausstieg aus der Kernenergie besteht aktuell und in den kommenden Jahren ein hoher Bedarf an neuen Technologien, Verfahren und Fachkräften für den Rückbau. Um den spezifischen Anforderungen beim Rückbau kerntechnischer Anlagen gerecht zu werden, müssen neue Verfahren entwickelt oder bestehende Technologien weiterentwickelt werden [1]. Hierzu gehört u.a. ein System, welches an Rohren in Einbaulage im Rohrinnen eine Beprobung mit dem Ziel der Freigabe in Einbaulage durchführen kann. Hierbei ist von wesentlicher Bedeutung, dass ein definierter Abtrag erzielt, sowie die genaue Position des Abtrages im Rohr bestimmt werden kann. Zudem muss gewährleistet werden, dass das System diesen definierten Materialabtrag über den gesamten Querschnitt, auch an Störstellen wie Ovalitäten, Schweißnähten, etc., abträgt und, falls möglich, verlustfrei bereitstellt. Des Weiteren sollte dieses System auch den effizienten Ausbau der betreffenden Rohre ermöglichen, ohne umgebende Betonstrukturen abbauen zu müssen, falls eine Freigabe in Einbaulage nicht möglich ist. Ein konkreter Anwendungsfall für eine derartige technologische Lösung sind die einbetonierten Leitungssysteme der Gebäudeentwässerung im Kontrollbereich von Leistungsreaktoren. Entsprechende Rohrleitungen befinden sich in größerem Umfang z.B. in der Bodenplatte der Kontrollbereichsgebäude.

Nach Angaben verschiedener Energieversorgungsunternehmen haben die Rohrleitungen in den Bodenplatten der Gebäude eine Gesamtlänge von ca. einem Kilometer. Sie bestehen größtenteils aus spiegelverschweißten Kunststoffrohren (Polypropylen – PP) mit einem Durchmesser von 8 bis 15 cm und einer Wanddicke von ca. 4 bis 6 mm. Aktuell in Arbeit befindliche Bestandsaufnahmen in den Rückbauprojekten weisen in Teilen auch auf die Verwendung anderer Kunststoffe (Polyvinylchlorid- PVC, Polyethylen-PE), wie auch Metalle (Grauguss) hin. In der überwiegenden Zahl verlaufen diese Rohrleitungen gerade. Es treten aber auch gebogene Rohrleitungsbereiche auf. Diese gebogenen Rohrleitungsbereiche haben i.d.R. sehr große Biegeradien, wie beispielsweise die Gebäuderingleitungen. [2]

Die Herausforderung bei den genannten Rohrleitungen ist u.a., dass diese zum Teil tief im Stahlbeton (bis zu 1,20 m) und unter der Bewehrung liegen. Ein Ausbau der Rohrleitungen durch Entfernung der Betonüberdeckung ist aufwändig und komplex. Hieraus leitet sich der Bedarf ab, ein System zu entwickeln, dass zum einen eine Beprobung der Rohre durchführen kann, aber auch eine effiziente Entfernung der Kunststoffrohre ermöglicht.

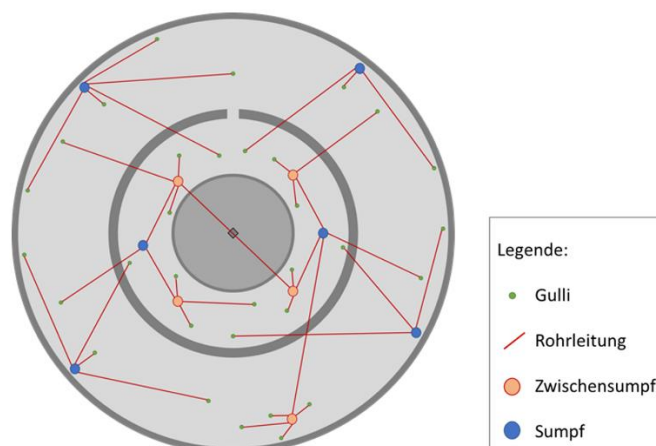


Fig. 1: Symbolskizze der Unterflurleitungen in der Bodenplatte eines Druckwasserreaktors [3].

In Fig. 1 ist zur Veranschaulichung eine Symbolskizze dieser Unterflurleitungen in Einbaulage am Beispiel eines Druckwasserreaktors (DWR) mitsamt den Rohrleitungen, Gullis und Sumpfen (Durchmesser ca. 1 m) beispielhaft dargestellt. Der Durchmesser einer solchen Bodenplatte liegt bei ca. 50-60 m [3]. Die Details sind von Anlage zu

Anlage etwas unterschiedlich, der Grundaufbau ist i.d.R. jedoch immer ähnlich. Bedingt durch die Betriebsweise der Anlagenentwässerung ist in Teilen von einer geringen Kontamination der Leitungen auszugehen.

Im Förderkonzept „FORKA – Forschung für den Rückbau kerntechnischer Anlagen“ des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) wird das Projekt Bero (FKZ:15S9444A+B) gefördert, in welchem ein System entwickelt wird, dass diese beschriebenen Probleme lösen soll. Das Projekt verfolgt das Gesamtziel für Rohrleitungen in Einbaulage ein Demonstratorsystem zu entwickeln, welches nach einem qualitätsgesicherten Beprobungsverfahren eine bedarfsgerechte Beprobung durchführen und das abgetragene Probenmaterial, soweit möglich, verlustfrei bereitstellen kann. Die Beprobung soll dabei grundsätzlich an beliebigen Stellen in den Rohrleitungen durchführbar sein, d.h. über die Länge und den Umfang. Für diese Probenentnahme soll untersucht werden, welches Abtragsverfahren sich am besten eignet (z.B. Fräsen, Drehen, Abstechen etc.) und wie ein definierter Materialabtrag erreicht werden kann. Bei der Konzeptfindung sind bauliche Risiken wie Kunststoffqualität, mögliche Ovalität oder Exzentrizität, sowie Schweißwülste zu berücksichtigen. Es muss gewährleistet werden, dass im Querschnitt dieselbe definierte Probenfläche bzw. Materialstärke abgenommen wird. Ein Kontakt mit der umgebenden Betonstruktur darf aufgrund möglicher Kontaminationsverschleppung nicht erzeugt werden. Um die Rohre nach einer Beprobung ausbauen zu können, ist eine Analyse und Untersuchung verschiedener Verfahren (z.B. Schlitten, Ziehen, Trennung quer/ längs etc.) notwendig. Das Projekt wird von der IBASS GmbH & Co. KG im Verbund mit dem Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) bearbeitet, wobei die RWE Nuclear GmbH und die PreussenElektra GmbH kostenneutral beratend tätig sind.

Durch den entwickelten Demonstrator wird damit eine praxismgerechte Lösung zur Probenentnahme der in Einbaulage verbleibenden Rohrleitungen in Kernkraftwerken geliefert. Primäres Ziel ist das Belassen der beprobten Rohrleitungen in Einbaulage, wenn der Nachweis erbracht werden kann, dass die Freigabekriterien für die beprobten Rohre eingehalten werden. Da dieses Vorgehen jedoch nicht pauschal auf alle Anlagen in Deutschland übertragen werden kann, werden ergänzend zur Beprobung und Freigabe in Einbaulage auch Technologien für einen effizienten Ausbau ohne Entfernung der Betonüberdeckung bewertet und in das Konzept des Demonstrators miteinbezogen, um anschließend den Freigabeprozess an der Gebäudestruktur bei entfernter Rohrleitung durchzuführen.

2 Erste Ergebnisse und aktuelle Prototypen

2.1 Versuchsreihen

Anhand der durchgeführten Grundlagenanalyse der verschiedenen Fertigungsverfahren nach DIN 8580, bei der die Einflussfaktoren und Anwendungsgrenzen mittels definierten, projektbezogenen Kriterien analysiert wurden, sowie einer anschließenden Machbarkeitsstudie, wurde ein Versuchsstand konstruiert, aufgebaut und mit passender Sensorik versehen. Der Versuchsstand (siehe Fig. 2) ist dabei so konzipiert, dass verschiedene Werkzeuge und Werkzeugtypen unterschiedlicher Fertigungsverfahren getestet und analysiert werden können. Anhand einer vorab durchgeführten Nutzwertanalyse wurden diejenigen Untergruppen ermittelt, welche den größten Nutzen für die spezifischen Anforderungen bei einer Probenentnahme an Kunststoffrohren aufweisen. Als Ergebnis wurden und werden unterschiedliche Ausführungen und Werkzeuge der Untergruppen Fräsen (3.2.3), Hobeln (3.2.4), Sägen (3.2.6) und Schaben (3.2.9), welche der Gruppe 3.2 „Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide“ zuzuordnen sind, getestet. Der Versuchsstand ist dabei so aufgebaut, dass ein sehr breiter Parameterbereich untersucht werden kann.

Fig. 2 zeigt den am KIT-TMB aufgebauten Versuchsstand inklusive Schaltschrank. Auf der linken Seite befindet sich ein beweglicher Werkzeugschlitten. Die zu testenden Werkzeuge können auf verschiedenen Motoren (je nach benötigter Drehzahl und Leistung) sowie an einer starren Halterung (für Schab- und Hobelwerkzeuge, hier im Bild) montiert werden. Das Werkzeug sitzt auf einer Kraftmessdose, wodurch die während der Bearbeitung auftretenden Rückstellkräfte gemessen werden. Über eine Lineareinheit lässt sich das Werkzeug im Rohr bewegen, wodurch Unebenheiten des Rohres mittels eines Abstandsmessers ausgeglichen werden können. Durch den Motor auf der rechten Seite des Versuchsstandes lässt sich das Rohr, welches über ein Backenfutter zentriert und auf Kugellagern gelagert ist, drehen. Durch verschiedene Übersetzungen des Antriebmotors kann eine große Spanne an Vorschubgeschwindigkeit simuliert werden.

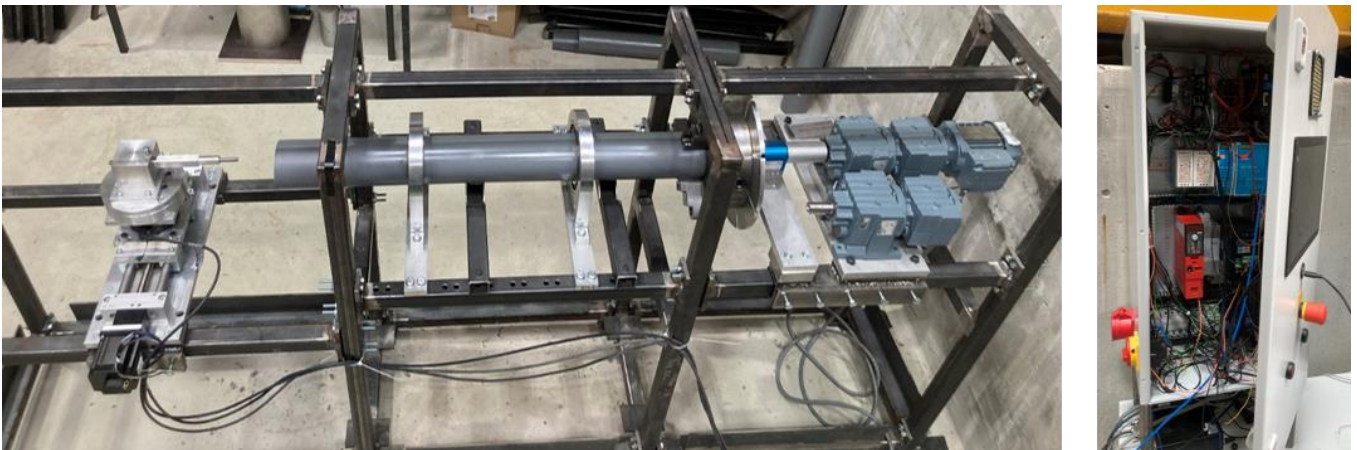


Fig. 2: Versuchsstand (links) und Schaltschrank (rechts) für unterschiedliche Fertigungsverfahren am KIT-TMB.

Durch diesen modularen Aufbau ist gewährleistet, dass unterschiedliche Fertigungsverfahren, sowie Werkzeugtypen und Ausführungen getestet werden. Während der Versuche werden zudem die elektrostatische Aufladung des Rohres und des Abtragsmaterials, die Hitzeentwicklung am Schnittpunkt sowie falls notwendig die Staubentwicklung aufgenommen. Das rechte Bild zeigt die Verschaltung der verschiedenen Motoren, Einheiten und Messgeräte. Die Steuerung und Ausgabe der einzelnen Betriebsparameter sowie die gewonnenen Daten der Messsensorik lassen sich über ein in den Schaltschrank montiertes Display eingeben und steuern. Die Programmierung würde dabei so aufgebaut, dass alle Komponenten einzeln steuerbar und die verschiedenen Betriebsparameter sowie Auswertungen einzeln einzustellen und wählbar sind. Im Anschluss an die Versuche werden die erzielten Ergebnisse wie Schnittqualität, Probenmaterialgüte und Spanbildung mittels Laserscans und mikroskopischen Aufnahmen ausgewertet.

2.2 Vorläufiges Demonstratorsystem

Neben verschiedenen kommerziell erhältlichen Werkzeugen unterschiedlicher Ausführungen, Schneidmaterialien und -formen der Fertigungsverfahren Fräsen, Hobeln, Sägen und Schaben, werden auch eigene Konstruktionen eines Beprobungswerkzeugs getestet. Der aktuell vielversprechendste Beprobungskopf ist in Fig. 3 einmal als Konstruktion sowie als 3D-Druck für erste Versuchsreihen dargestellt. Zwischen den beiden Teilen des Beprobungskopfes werden Federn eingespannt, wodurch sich die Klinge mit einem einstellbaren Druck an die Rohrrinnenwand presst. Über zwei Heizelemente kann die am oberen Teil eingeschraubte Klinge für ein besseres Schnittbild und eine Reduzierung der Rückstellkräfte erwärmt werden. Der erzeugte Span wird durch die Aussparung abgeführt und durch eine Zuführung von Druckluft können Schnittfuge und Span gekühlt werden. Die Klinge trifft ungefähr mit einem 20° Winkel auf die Rohrrinnenwand und besitzt zum hinteren Teil der Klinge hin einen leichten Überstand des Beprobungskopfes, wodurch ein zu tiefes Eindringen der Klinge verhindert wird. Über die Bohrungen am unteren Teil kann der Beprobungskopf am Fahrwagen festgemacht werden. Der zunächst im 3D-Druck gefertigte Prototyp diente dabei primär dem Prototyping und ersten Funktionsuntersuchungen. Sobald die gewonnenen Erkenntnisse aus diesen Tests überzeugen, ist die Fertigung einer weiterentwickelten Version aus Metall vorgesehen, um insbesondere die Funktion der Heizelemente unter realistischen Bedingungen prüfen zu können, was mit einem 3D-gedruckten Prototypen nicht möglich ist.

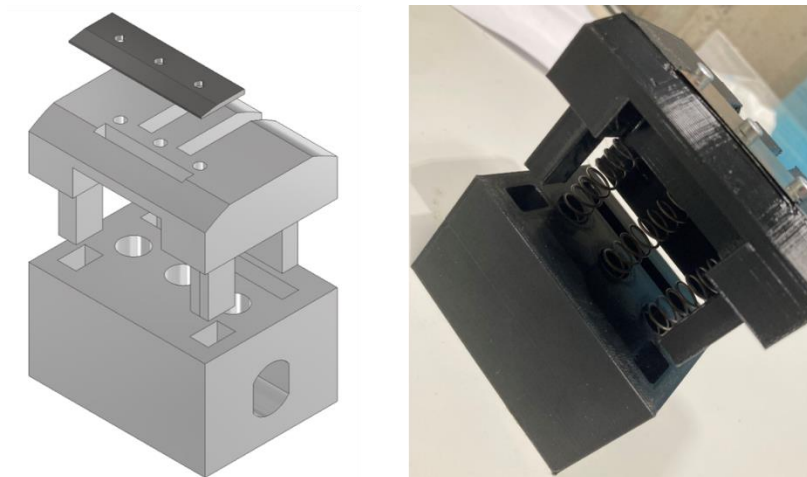


Fig. 3: Darstellung (links Konstruktion und rechts 3D-Druck) des aktuell vielversprechendsten entwickelten Beprobungskopf.

Parallel zu den Konstruktionen und Versuchsreihen am KIT-TMB wird der zugehörige Fahrwagen beim Verbundpartner IBASS GmbH entwickelt. Der aktuelle Stand ist in Fig. 4 zu sehen (links: verspannt im Rohr, rechts: aufgespannt mit eindrehbarer Antriebssange). Die Fixierung und Zentrierung im Rohr erfolgt über drei Rollenarme, welche pneumatisch aufgestellt werden können. Angeschoben wird der Fahrwagen über Fiberglasstangen, die über sehr hohe Flexibilität und Stabilität verfügen. Anhand unterschiedlicher zusätzlicher Komponenten (Kamera, Lichter, Positionssensor, etc.) werden die speziellen Herausforderungen, die durch die Beprobung von Kunststoffrohren gestellt werden, erfüllt.

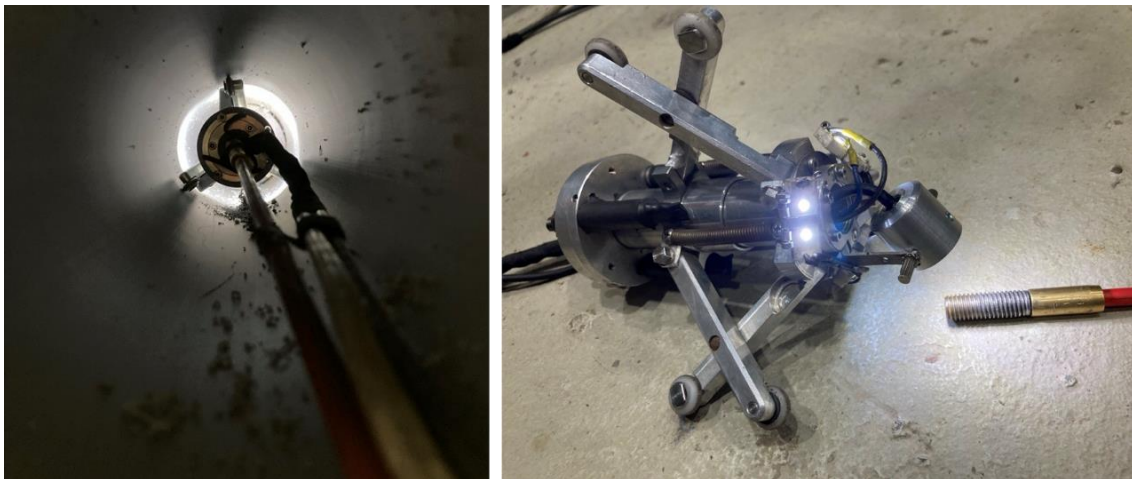


Fig. 4: Zu sehen ist der von der IBASS GmbH entwickelte Fahrwagen, links verspannt im Rohr und rechts aufgespannt mit eindrehbarer Antriebssange.

3 Fazit

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Herausforderungen, welche im Zusammenhang mit den Leitsystemen der Gebäudeentwässerung unter Leistungsreaktoren bestehen, bewältigt werden können. Das in Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie entwickelte Beprobungssystem für diese nicht oder schwer zugänglichen Kunststoffrohre wird den Bereich der Freigabeverfahren und konventionellen Entsorgungswege vereinfachen und stärken können. So kann das System einen Beitrag zur Verbesserung des Umgangs mit anfallenden Reststoffen,

insbesondere der vorhandenen Leitungen aus Kunststoffen, beim Rückbau kerntechnischer Anlagen liefern. Das vom BMFTR geförderte Projekt mit Laufzeit bis Ende September 2026 zielt darauf ab, zum Projektende ein voll einsatzfähiges Demonstratorsystem entwickelt zu haben, welches nach einem qualitätsgesicherten Beprobungsverfahren Materialproben aus diesen Rohrleitungen für eine Freigabemessung entnimmt. Dabei zeichnet sich das Demonstratorsystem zudem durch seine universelle Einsetzbarkeit (Bestückung des Fahrwagens mit unterschiedlichen Komponenten möglich, variabler Durchmesserbereich durch pneumatische Rollenarme, Bearbeitung unterschiedlicher Wandstärken und Materialien möglich) aus. Das entwickelte Demonstratorsystem hilft somit, den Rückbau kerntechnischer Anlagen zukünftig effizienter, wirtschaftlicher und sicherer gestalten zu können.

4 Literaturverweise

- [1] Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (Jahr unbekannt): „Die Debatte um verlängerte Laufzeiten“, Online unter: https://www.base.bund.de/DE/themen/kt/ausstieg-atomkraft/ausstieg_node.html, abgerufen am 18.08.2025.
- [2] Angaben der Betreiber RWE Nuclear GmbH und der PreussenElektra GmbH, beratend tätig im Forschungsprojekt.
- [3] PreussenElektra GmbH: „Symbolskizze der Unterflurleitungen in der Bodenplatte eines Druckwasserreaktors.“