

Entwicklung eines Werkzeugs zur mechanischen Innenkanten- und Eckendekontamination

Eric Rentschler, Kurt Heppler, Martin Villinger, Sascha Gentes

Herausforderungen der Dekontamination

Eine zentrale Aufgabe bei dem Rückbau kerntechnischer Anlagen ist die Dekontamination von Anlagenteilen. Der Begriff Dekontamination bezieht sich hierbei auf das Entfernen von radioaktiven Verunreinigungen (Hübner, Grone, & Schultmann, 2017). Typische Kernkraftwerke in Deutschland verfügen über 100.000 m² bis 450.000 m² Betonoberfläche (TMB, 2022), welche für eine erfolgreiche Freimesung dekontaminiert werden muss. Üblicherweise erfolgt die Dekontamination bei Beton durch das Abtragen der Oberfläche bis zu der Tiefe, ab der keine Kontamination mehr vorliegt. Die Kontamination liegt typischerweise in einer Tiefe von einigen Zentimetern vor (Kommission, 2009). Erst wenn das gesamte radioaktive Material abgetragen wurde und die Oberflächen freigemessen sind, kann die restliche Gebäudestruktur auf konventionelle Art und Weise zurückgebaut bzw. abgerissen werden. Die Gründe, warum eine Dekontamination erforderlich ist, sind (NEA, 1999):

- Die radioaktive Strahlung soll reduziert werden, um die Dosis, der Personen ausgesetzt sind, zu verringern.
- Die Wiederverwertung von Anlagenteilen und Materialien soll ermöglicht werden.
- Die Abfallmenge, die in speziellen und lizenzierten Entsorgungsanlagen beseitigt werden muss, soll reduziert werden.
- Das kontaminierte Material soll zur anschließenden Beseitigung gebündelt werden.
- Es soll die uneingeschränkte Nutzung des Geländes und der dazugehörigen Bauten wiederhergestellt werden.

Herausforderungen verbunden und erstrecken sich daher über gewisse Zeitspannen.

Optimierungspotential

Die Werkzeuggeometrie der typischen Werkzeuge aus dem Sanierungsbereich ermöglicht zwar eine Bearbeitung von Innenkanten, diese sind jedoch nicht speziell für diesen Zweck konstruiert. Nadelpistolen, Abbruchhämmer oder Fräsgeräte sind zwar vielseitig einsetzbar, weisen aber für die aufgabenspezifischen Arbeiten der Innenkantendekontamination niedrige

Dekontaminationsvorgang bei Innenkanten

Für die Dekontamination ebener, größerer Betonoberflächen werden teilweise bereits speziell entwickelte Werkzeuge und Verfahren angewendet (Studsvik, 2007). Bei der Dekontamination der Randbereiche wie Ecken- und Innenkanten sind bei größeren Anwendungen jedoch meist geometrische Grenzen gesetzt. Diese Bereiche werden derzeit mit handgeführten Werkzeugen (vgl. **Abbildung 1**) aus dem Bereich des konventionellen Rückbaus bearbeitet und dekontaminiert. Nach heutigem Stand der Technik kommen für die Dekontamination von Störgeometrien wie z. B. Ecken und Innenkanten, Techniken aus dem konventionellen Sanierungsbereich zum Einsatz wie beispielsweise Nadelpistolen und Stockgeräte, die die Facharbeiter vor Ort für die Dekontaminationsarbeiten verwenden (Hilti, 2019). Diese Arbeiten sind mit technischen



Abb. 1
Dekontaminationsarbeiten mit einem handgeführten Gerät.
Foto: SAT, 2020

Streckenleistungen auf. Durch den längenmäßig großen Anteil an Innenkanten lohnt sich daher eine angepasste Werkzeugentwicklung auf den Anwendungsfall.

Darüber hinaus besitzen konventionelle Werkzeuge in der Regel keine direkt anschließbare Absaugvorrichtung (SAT, 2020). Aus diesem Grund müssen diese Geräte meist mit einem zusätzlichen externen Absaugsystem verwendet werden um den Arbeitsschutz sicherzustellen. Die daraus resultierende Kombination aus der Verwendung handgeführter Werkzeuge und externen Absaugsystemen macht die Dekontaminationsaufgaben zu einer herausfordernden Aufgabe.

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Oberflächenbeschaffenheit für die Freimessung. Diese findet anschließend an die Dekontamination der Oberflächen statt, um beurteilen zu können, ob das kontaminierte Material vollständig abgetragen ist oder ob ein weiterer Arbeitsgang notwendig ist. Für einen optimalen Freimessvorgang ist eine möglichst ebene Fläche von Vorteil, was für die eingesetzten Werkzeuge eine zusätzliche Aufgabe darstellt. Dies bietet weitere Optimierungsmöglichkeiten für die zu entwickelnden Werkzeuge.

Lösungsansatz EKONT

Um für diese Arbeiten speziell angepasste Werkzeuge zu nutzen, wurde das EKONT-Projekt durchgeführt. Die entwickelten Werkzeuge besitzen eine direkt anschließbare Absaugung und eine spezielle Werkzeuggeometrie, um Arbeiten an Innenkanten und -ecken einfacher durchführen zu können. Das Projekt EKONT, voller Titel: „Entwicklung eines innovativen, teilautomatisierten Gerätes für eine trocken-mechanische Ecken-, Kanten- und Störstellendekontamination in kerntechnischen Anlagen“ wurde hierfür angestoßen und durchgeführt.

Im Rahmen dieses Projektes konnten mehrere funktionsfähige Demonstratorwerkzeuge entwickelt, gebaut und sowohl im Labor als auch im praktischen Einsatz im Kernkraftwerk Obrigheim getestet werden.

Das Wirkprinzip des Stufenfräsers (vgl. **Abbildung 2**) basiert auf Frässcheiben unterschiedlichen Durchmessers, die nebeneinander angeordnet werden und so einen Eckenwinkel von 90° abbilden (vgl. **Abbildung 3**). Durch diesen Aufbau kann effektiv in die Kanten eingedrungen und kontaminiertes Material abgetragen werden. Das Werkzeug kann mit fünf Diamantscheiben ausgestattet werden, die achsensymmetrisch auf den rotierenden Teil des Winkelschleifers aufgesetzt werden. Die mittlere Scheibe ist hierbei die größte mit 220 mm Durchmesser, nach außen sind die Scheibendurchmesser absteigend auf 210 mm und abschließend 200 mm. Die Diamantscheiben werden bei diesem Demonstratorwerkzeug über einen Winkelschleifer angetrieben, zwischen den Diamantscheiben sind Abstandshalter angebracht, die ein freies Arbeiten der einzelnen Scheibe ermöglichen, trotzdem jedoch eine Restbetonstegbildung vermeiden.

Vorteile des EKONT-Werkzeugs

Die diversen Werkzeugmechanismen unterstützen hierbei das Personal bei den Dekontaminationsarbeiten mit einer Vorschubgeschwindigkeit von bis zu 120 cm pro Minute bei einer Bearbeitungstiefe von beispielsweise 10 mm und einem Werkzeuggewicht von lediglich 7,5 kg.

So erzeugt das Werkzeug eine ebene Oberfläche, was speziell für eine anschließende Freimessung von Vorteil ist. Die geschlitzten Diamantscheiben sorgen für einen optimalen Abtrag und Auswurf des entfernten Materials und bringen durch die Diamantanordnung am und im

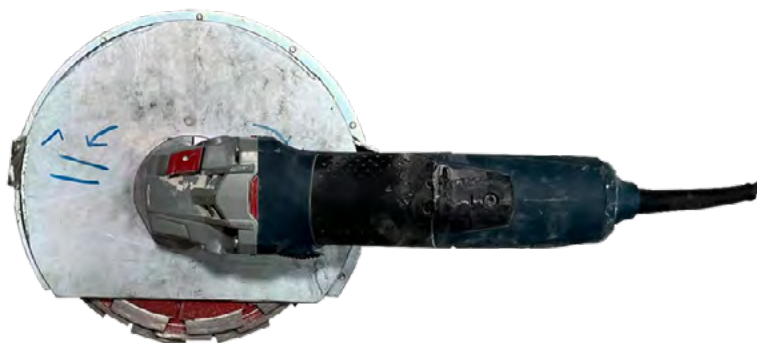


Abb. 2
EKONT-Werkzeug.
Fotos: KIT TMB

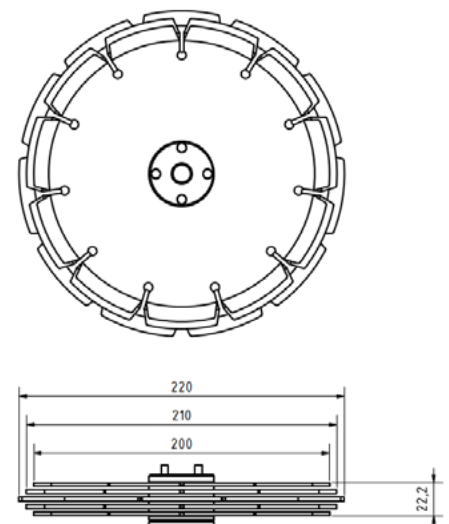


Abb. 3
Diamantscheibenaufbau.



Abb. 4
Innenkante aus Betonkörpern vor der Bearbeitung.
Fotos: KIT TMB



Abb. 5
Innenkante nach der Bearbeitung mit dem EKONT-Werkzeug.

Außenumfang sehr gute Ergebnisse in der zu bearbeitenden Oberfläche. In vielen Bereichen befindet sich die Dekontamination lediglich in einigen Tiefenmillimetern, daher liegt der Hauptbereich des Werkzeugabtrags im Bereich bis 15 mm.

Das Gehäuse um die Diamantscheiben wurde aus Blech gefertigt und wird auf den Winkelschleifer montiert. In das Gehäuse ist eine direkte Anschlussmöglichkeit für eine Absaugung eingelassen, der Nutzer kann somit mit beiden Händen das Werkzeug bedienen und sich auf den Abtrag fokussieren. Ein zusätzlicher Griff des Winkelschleifers kann anschließend auf das Gehäuse an verschiedenen Stellen angebracht werden, was ein Arbeiten an Innenkanten zwischen Wand und Fußboden, Wand und Wand oder Wand und Decke erleichtert.

Versuchsprogramm

Für die Werkzeugentwicklung wurden mehrere Anforderungsparameter herangezogen. Neben der Leistung wurde das Werkzeug auf den Kraftbedarf für den Nutzer untersucht sowie auf die entstehende Oberflächenqualität hinsichtlich der anschließenden Freimessung, die Staubentwicklung während der Materialbearbeitung sowie die auftretenden Vibrationen und der entstehende Schallpegel während der Nutzung. Die Werkzeuganwendung wurde an verschiedenen Betonfestigkeiten geprüft wie beispielsweise C25/30 oder C30/37,

um die Leistungsunterschiede aufzuzeigen. Für die Untersuchung der Parameter wurde eigens ein Versuchsstand entwickelt, der über eingebaute Messensorik verfügt und in dem verschiedene Betonprobekörper untersucht werden können.

Ziel des Versuchsstandes ist eine realitätsnahe Abbildung des Werkzeugeingriffs zu schaffen. Dafür werden die zu untersuchenden Werkzeuge in eine Werkzeughalterung eingespannt, welche über eine Kräfte- und Momentenmessdose an einer Lineareinheit befestigt ist. Zur präzisen Positionierung der Werkzeuge ist diese Lineareinheit an den Enden über zwei baugleiche Schlittenkonstruktionen im Rahmen aufgehängt. Diese Schlitten ermöglichen sowohl eine horizontale als auch vertikale Verschiebung und können über Schraubverbindungen in jeder Position kraftschlüssig mit dem Rahmen verbunden werden. Integrierte Kardangelenke ermöglichen die freie Positionierung beider Führungsschlitten, damit auch Steigungen und quer verlaufende Bearbeitungsfugen realisiert werden können. Über eine halbkreisförmige Aufhängung der Kardangelenke wird ebenfalls eine Rotation um die Längsachse der Linearführung erreicht. So kann eine Bearbeitung sowohl an einer Boden- als auch Wandfläche durchgeführt werden, ohne das Versuchsmuster in der Werkzeugaufnahme umspannen zu müssen. Um die zu dekontaminierenden Innenkanten nachzubilden, werden gefertigte Betonblöcke verwendet,

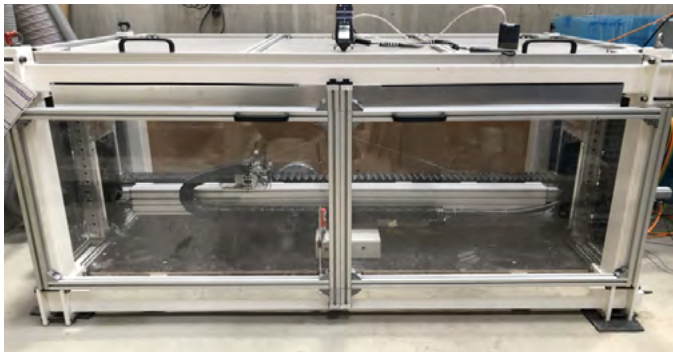


Abb. 6
Versuchsstand mit Lineareinheit und Messtechnik.
Fotos: KIT TMB



Abb. 7
Bearbeitungstest in der horizontalen Ebene bei der
Betonfestigkeit C25/30.

die in den Versuchsstand eingelegt werden und nach den durchgeführten Versuchen wieder ausgetauscht werden können. So können unterschiedliche Kanten- und Störstellengeometrien nachgebildet werden und unterschiedliche Betonfestigkeitsklassen per Tausch der Betonblöcke getestet werden. Dies ermöglicht im Versuchsstand die Erprobung unter unterschiedlichsten Bedingungen, sowie sie auch in den kerntechnischen Anlagen vorzufinden sind.

Neben der bereits erwähnten Kräfte- und Momentenmessdose wird im laufenden Versuch sowohl der Schallpegel als auch die entstehenden Vibrationswerte aufgezeichnet. Mithilfe dieser Messungen können Rückschlüsse auf die körperlichen Einflüsse für den Anwender gezogen werden. Um die Qualität des Abtrages und das abgetragene Volumen bestimmen zu können, erfasst ein Laserscanner die Betonoberfläche jeweils vor und nach der Bearbeitung. So kann ein virtuelles Abbild der abgetragenen Kontur erstellt und für spätere Betrachtungen archiviert werden. Es wird ebenfalls die Staubpartikelkonzentration im Versuchsstand während der Versuchsdurchführung gemessen. Zudem wird im Anschluss an den jeweiligen Versuch, das abgetragene Material auf seine Partikelgrößen und die Zusammensetzung untersucht, um den Grad der Zerkleinerung und die damit verbundene Förderfähigkeit für die Absaugung untersuchen zu können.

Ergebnisse

Die Untersuchungen der Testreihen zeigen beispielsweise bei der erforderlichen Anpresskraft klar, dass diese bei dem neu entwickelten EKONT-Werkzeug niedriger ausfällt (vgl. **Tabelle 1**). Dies bedeutet in der Praxis vor Ort auf der Baustelle, dass die Anwender deutlich leichter den Materialabtrag durchführen können und weniger Kraft aufbringen müssen, um das Werkzeug in der gewünschten Position zu halten. Durch den geringeren Kraftaufwand lässt sich das EKONT-Werkzeug somit präziser bedienen, da die Nutzer weniger Energie auf die

Erforderliche Anpresskraft [N] durch die Anwender bei einer Betoneindringtiefe von 5 mm [C25/30]			
Werkzeug	Vorschubgeschwindigkeit [mm/s]		
	v= 10 mm/s	v= 15 mm/s	v= 20 mm/s
Konventionelle Betonfräse	33,69 N	53,73 N	61,31 N
EKONT-Werkzeug	7,01 N	10,00 N	15,20 N

Tab. 1
Erforderlicher Kraftbedarf durch den Werkzeugnutzer im Vergleich.

Fixierung des Geräts verwenden müssen und sich auf einen exakten Abtrag fokussieren können.

Praxistests und Anwendung im Kernkraftwerk Obrigheim

Um die entwickelten EKONT-Werkzeuge nach der wissenschaftlichen Erprobung im Versuchsstand auch in der Praxis zu testen, konnten Versuche vor Ort im Kernkraftwerk Obrigheim durchgeführt werden. Der aufwendige Genehmigungsprozess und die Versuche selbst wurden dabei vom Projektpartner SAT Kerntechnik GmbH und deren Mitarbeitenden durchgeführt. Im Fokus dieser Versuche stand insbesondere die Gewinnung von Erfahrungsberichten der ausführenden Arbeiter/innen. Außerdem sollten unerwartete Probleme und Schwierigkeiten aufgedeckt werden, die bei der Konstruktion der Versuchsmuster nicht berücksichtigt wurden und in den Laborversuchen nicht aufgetreten sind. Die Versuchswerkzeuge wurden nach den durchgeführten Versuchen in den Bereichen Ergonomie, Leistung und Oberflächenqualität bewertet. Allgemein ergibt sich, dass die Werkzeuge ihren Zweck erfüllen konnten und es keine Ausfälle der Technik gab. Was in der zukünftigen Entwicklung stärker gewichtet werden muss ist die Ergonomie der Geräte. Besonders das Gewicht spielt eine wichtige Rolle, wenn es darum geht, wie benutzerfreundlich das Werkzeug ist. Daher soll insbesondere an dieser Thematik weitergearbeitet und die übrigen Erfahrungen weiter genutzt werden.

Bewährt hat sich die Werkzeugfunktion mit der Umstellbarkeit von horizontalem Arbeiten und

vertikalem Arbeiten, sprich ob das Werkzeug in einer Innenkante zwischen zwei Wänden eingesetzt wird oder einer Innenkante von Wand und Decke. Hierbei schützt die Einhausung den Anwender vor den Diamantscheiben als auch vor aufkommendem Staub. Die Absaugung konnte problemlos mit dem Werkzeug verbunden werden und war während der Arbeiten, trotz beengter Verhältnisse, kein geometrisches Hindernis. Die Dekont-Beschichtung als auch der darunterliegende Beton konnten präzise und leistungsstark abgetragen werden und ein Zeitgewinn war deutlich ersichtlich.

Forschungsausblick EKONT-2

Bei der Weiterentwicklung der Demonstratorwerkzeuge soll unter anderem ein akkubetriebener Antrieb der Werkzeuge ermöglicht werden. Neben der weiteren geplanten Leistungsverbesserung für einen geringeren Zeitbedarf der Dekontamination wird das Augenmerk auf eine Gewichtsreduktion der Werkzeuge gelegt, um die Ergonomie noch weiter erhöhen zu können. Eine Variante mit verringerten Außenmaßen und kleinerer Werkzeuggeometrie wird ebenfalls getestet. Durch eine verstellbare Tiefenführung soll ein präziserer Abtrag ermöglicht werden, um das Abfallaufkommen bei den Dekontaminationsarbeiten auf ein erforderliches Minimum zu senken. Dies trägt im kleinen Stil zur Schonung der Zwischen- und Endlagerkapazitäten bei und verhindert Folgekosten. Die Oberflächenqualität nach der Bearbeitung wird weiter verbessert, um eine anschließende Freimessung bestmöglich zu gewährleisten. Der Abtrag bei verschiedenen Dekontaminationsbeschichtungen wird geprüft und das Werkzeug wird dahingehend angepasst sowie mit einer exakten Tiefenführung versehen. Auch Arbeitssicherheitsaspekte aus dem konventionellen Rückbaubereich werden bei der Weiterentwicklung beachtet. Hierzu zählt eine möglichst niedrige Stauberzeugung des Werkzeugs, speziell ein niedriger Feinstaubanteil sowie möglichst niedrige Vibrationskräfte für die Endnutzer des Werkzeugs. Die Abtragsleistung sowie die Oberflächenqualität der in EKONT-1 entwickelten Werkzeuge übertreffen bereits die aktuell auf dem Markt verfügbaren Geräte und werden in EKONT-2 weiter gesteigert.

Literatur

- | Frey, H. (2021). Kernenergie: Kraftwerkstypen, Entwicklung und Risiken, Springer.
- | Hilti. (2019). Stockerwerkzeuge TE-Y SKHM. Hilti Deutschland AG.
- | Hübner, F., G. G., & Schultmann, F. (2017). Technologien zur Zerlegung und zur Dekontamination von kerntechnischen Anlagen. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie.
- | Kommission, E. (2009). Dismantling Techniques, Decontamination Techniques, Dissemination of Best Practice, Experience and Know-how.
- | NEA. (1999). Decontamination Techniques Used in Decommissioning Activities – A Report by the NEA Task Group on Decontamination. Nuclear Energy Agency.
- | SAT. (2020). Praxisbericht SAT Kerntechnik GmbH. SAT Kerntechnik.
- | Studsvik. (2007). BOLERO - Flexibles Dekontaminationssystem für Wände und Decken mit anschließender Kontaminationssmessung. Studsvik SINA.
- | TMB, K. (2022). Expertenbefragung und -gespräche von Kernkraftwerksbetreibern. Karlsruhe.



Das Projekt „EKONT-2“ ist gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 1559440.

Autoren



Eric Rentschler

M.Eng., Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB), Abteilung Rückbau
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

eric.rentschler@kit.edu

Eric Rentschler ist seit 2020 wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Hierbei forscht er am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) im Fachbereich „Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke“ von Prof. Dr.-Ing. Sascha Gentes. Nach seinem Studium im Bereich Bauingenieurwesen arbeitete er in verschiedenen Positionen im Tiefbau und kann so seine Erfahrung in die aktuellen Rückbauprojekte einbringen.



Martin Villinger

Labor für Maschinenkonstruktion und Produktentwicklung
HTWG Konstanz

m.villinger@htwg-konstanz.de

Martin Villinger ist seit 2022 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der HTWG Hochschule Konstanz, im Labor für Maschinenkonstruktion und Produktentwicklung von Prof. Dr.-Ing. Dr.-sc.agr. Kurt Heppler. Durch sein Studium im Bereich Maschinenbau und Tätigkeiten im Sondermaschinen- und Anlagenbau konnte er Erfahrungen im Bereich der Prototypenentwicklung sammeln, welche in die aktuellen Forschungsprojekten miteingebracht werden können.



Prof. Dr.-Ing. Dr. sc. agr. Kurt Heppler

Labor für Maschinenkonstruktion und Produktentwicklung
HTWG Konstanz

kurt.heppler@htwg-konstanz.de

Kurt Heppler lehrt und forscht seit 2009 an der Hochschule Konstanz als W3 Professor im Bereich der Maschinenkonstruktion. Seine Arbeitsgruppe Rückbau entwickelt und erforscht neue Wirkprinzipien zur trockenmechanischen Dekontamination von Strukturen in kerntechnischen Anlagen. Vorher arbeitete er als promovierter Maschinenbau- und Agraringenieur bei verschiedenen Firmen und Hochschulinstituten auf den Themenfeld der mobile Arbeitsmaschinen. Erste Berührungspunkte mit dem Rückbau hatte er schon zur Jahrtausendwende durch die Einführung der kombinierten Absaugung bei Rückbauarbeiten am Kernforschungszentrum Karlsruhe (KNK2).



Prof. Dr. Sascha Gentes

Leiter des Institutes für Technologie und Management im Baubetrieb, Rückbau konventioneller und kerntechnischer Bauwerke
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

sascha.gentes@kit.edu

Co-Autoren

Johannes Greb

Contec Maschinenbau & Entwicklungstechnik GmbH

Stefan Stemmler

SAT Kerntechnik GmbH