

(RecTecKA) – Recycling von Technologiemetallen aus dem Rückbau kerntechnischer Anlagen unter Berücksichtigung strahlenschutzrechtlicher Vorgaben.

Teil I. Kurzbericht

Darmstadt, 22.10.2024

Autorinnen und Autoren

Angelika Spieth-Achnich
Dr. Matthias Buchert
Dr. Felix Mayer
Dr. Nino Schön-Blume
Dr. Veronika Ustohalova
Dr. Christoph Pistner
Manuel Claus
Julia Schütz
Öko-Institut e.V.

Kevin Wille
ELECTROCYCLING GmbH

Dr. Stephan Kranz
Rolf Etges
EnBW Kernkraft GmbH

Julius Luh
Prof. Dr. Ing. Daniel Goldmann
**TU Clausthal, Institut für Aufbereitung, Recycling und
Kreislaufwirtschaftssysteme (IFAD)**

Kontakt

info@oeko.de
www.oeko.de

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 15S9428A-D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg.

Kontakt Partner

ELECTROCYCLING GmbH

Landstraße 91
38644 Goslar
Telefon +49 5321 3367 0

EnBW Kernkraft GmbH

Kernkraftwerk Philippsburg
Rheinschanzinsel
76661 Philippsburg
Telefon +49 7256 95-0

Technische Universität Clausthal

Institut für Aufbereitung, Recycling und
Kreislaufwirtschaftssysteme
Walther-Nernst-Straße 9
38678 Clausthal-Zellerfeld
Telefon +49 5323 72-2038

Kurzbericht

Übergeordnetes Ziel des Verbundprojektes RecTeCKA ist die Optimierung der geschlossenen Kreislaufwirtschaft für Metalle aus dem Rückbau von Kernkraftwerken. Der Fokus liegt insbesondere auf herausgegebenen Wertmetallen und -legierungen aufgrund ihrer hohen spezifischen Werthaltigkeit in kerntechnischen Anlagen. Die bisherige Rückbaupraxis ermöglicht bereits hohe Recyclingquoten. Die bestehenden Wissensdefizite und Hemmnisse sollten erkannt und überwunden werden. Es wurden als Modellanlagen das Kernkraftwerk Philippsburg mit seinen Blöcken KKP 1: Siedewasserreaktor und KKP 2: Druckwasserreaktor untersucht. Damit wurden die relevanten Reaktortypen sowie Anlagen unterschiedlichen Alters abgedeckt. Somit war es möglich, eine Generalisierung und abgeschätzte Skalierung der Forschungsergebnisse auf alle Kernkraftwerke in Deutschland bzw. der EU vorzunehmen. Folgende Ziele wurden mit dem Vorhaben schwerpunktmäßig verfolgt:

1. Identifizierung von Anlagenteilen mit hohem Recyclingpotenzial und Inventarerhebung Wertmetalle am Beispiel eines Siedewasserreaktors (KKP 1) und eines Druckwasserreaktors (KKP 2)
 2. Ermittlung des Materialwerts
 3. Ökologische Betrachtung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
 4. Analyse des Spannungsfeldes Recyclingpotenzial vs. Freigabe
 5. Abschätzung ökologisches und ökonomisches Potenzial der Verwertung von Wertmetallen aus dem KKW-Rückbau in Deutschland
- Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Anlagen KKP 1 und KKP 2 zeigen eindeutig ein hohes Verwertungspotenzial für Wertmetalle und -legierungen, die ohne Probleme in die Freigabe gelangen können. Es dominieren bei den zur Verwertung geeigneten Metallen/Legierungen nach Mengengesichtspunkten vor allem Kupfer- und Kupferlegierungen, Aluminium sowie Edelstähle. Edelmetalle (Gold etc.) aus diversen elektronischen Bauteilen in KKP 1 und KKP 2 weisen zudem ein hohes ökonomisches Wertpotenzial aus dem Recycling auf. Dieses Potential wird auf Basis der Vorgaben der Strahlenschutzgesetzgebung bzw. des Kreislaufwirtschaftsgesetzes bereits heute im Wesentlichen ausgeschöpft.
 - Die Arbeiten zeigen zudem, dass die identifizierten Metallinventare, die für ein hochwertiges Recycling zur Verfügung stehen, ganz überwiegend durch einfache und konventionelle Demontageprozesse wie z. B. mechanische Trennung von Edelstählen von niedriglegierten Stählen aus Großkomponenten, konventionelle Aufbereitung von Kupferkabelschrott und Elektromotoren und einfache Aufbereitung und Refining von Leiterplatten und sonstigem Elektronikschrott erschlossen werden können. Die hohen Wertpotenziale aus diesen Komponenten im Rahmen des Rückbaus der Kernkraftwerke können vergleichsweise einfach und mit wenig Aufwand erschlossen werden; dies wird in der Rückbaupraxis auch bereits umgesetzt. Dieses Fazit schießt radioaktiv kontaminierte oder gar aktivierte Bauteile und Komponenten explizit aus.
 - Das identifizierte Verwertungspotenzial für Wertmetalle und Wertlegierungen ist im Falle des Druckwasserreaktors KKP 2 signifikant höher im Vergleich zum Siedewasserreaktor KKP 1. Zwar weist KKP 2 eine höhere Nettoleistung auf als KKP 1. Entscheidender für die Unterschiede ist jedoch, dass im Falle eines Siedewasserreaktors erheblich mehr Anlagenkomponenten (vor

allem im Maschinenhaus) über den Primärkreislauf radioaktiv kontaminiert sind als im Falle eines Druckwasserreaktors und daher ohne aufwendige Dekontaminierungsprozesse nicht in die Freigabe gelangen können.

- Insgesamt errechnet sich aus der Hochskalierung der Ergebnisse für KKP 1 und KKP 2 auf alle in Deutschland relevanten (kommerziellen) Reaktoren ein Materialwert für Wertmetalle und Wertlegierungen von mehreren Hundert Mio. Euro, für alle Druck- und Siedewasserreaktoren in Europa ein Materialwert im einstelligen Mrd. Euro Bereich.
- Aus den Ergebnissen der umfassenden Ökobilanz zum RecTecKA-Vorhaben zu KKP 1 und KKP 2 und deren Hochskalierung auf alle Kernreaktoren in Deutschland ergibt sich bei einem hochwertigen Recycling der Metallinventare eine Einsparung an Treibhausgasen von nahezu 700.000 Tonnen CO₂-Eq. Dies entspricht dem jährlichen Ausstoß von rund 70.000 Einwohnern in Deutschland. Für ganz Europa liegt das Einsparpotential bei 5,35 Mio. t CO₂-Eq, was ungefähr dem CO₂-Eq-Ausstoß von 700.000 Europäern pro Jahr entspricht.
- Anhand von Beispielen für radioaktiv kontaminierte Komponenten wie Dampferzeuger oder H₂-Rekombinatoren wird deutlich, dass zwar im Einzelfall weitere Potenziale für Metallrecycling bestehen. Es müssen jedoch sowohl für die Konzeption und Durchführung der Dekontaminierungsprozesse als auch für die notwendigen FreigabeprozEDUREN erhebliche Personal- und sonstige Ressourcen einkalkuliert werden.
- Den oben genannten Aufwendungen für Dekontaminierung und Freigabe stehen jedoch erhebliche Einsparungskosten hinsichtlich der Vermeidung von Endlagerkosten für radioaktive Abfälle von 30.000 €/m³ – mit steigender Tendenz – gegenüber. Es wird deutlich, dass es zur Entscheidungsfindung (Dekontamination und Freigabe versus Endlagerung als radioaktiver Abfall) jeweils umfassender Einzelfallprüfungen bedarf.
- Der Rückbau von Kernkraftwerken in Deutschland bietet u. a. für Kupfer, Aluminium und Edelstähle aber auch für Edelmetalle wie Gold, Silber und Palladium eine attraktive und signifikante Quelle für Sekundärrohstoffe.
- Die Erschließung der Potenziale für die genannten Wertmetalle und Wertlegierungen aus dem Rückbau der Kernkraftwerke steht im direkten Einklang mit den Zielen des im April 2024 in Kraft getretenen European Critical Raw Materials Act und ist damit für Deutschland und die EU ein hochaktuelles und strategisches Feld.
- Viele Erkenntnisse bzgl. der Metallinventare aus den konventionellen Anlagenbereichen der Kernkraftwerke lassen auch interessante Rückschlüsse für den Rückbau von Kohle- sowie Erdgaskraftwerken zu. Dies beschränkt sich auf Anlagenteile und Komponenten wie Generatoren, die in allen Wärmekraftwerken benötigt werden. Hier gilt es in den nächsten Jahren durch vergleichbare Inventarerhebungen wie in RecTecKA die Potenziale für das Metallrecycling genauer zu erheben.
- Es bedarf in den nächsten Jahren noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen für eine mögliche Ausweitung der Freigabe von Komponenten. Hier gilt es weitere Potenziale für besonders relevante Einzelkomponenten wie Dampferzeuger noch zu erschließen. Wie bereits beschrieben werden diese Aktivitäten mit erheblichen Aufwendungen verbunden sein und müssen erforscht und erprobt werden. Allerdings versprechen diese Aktivitäten im Erfolgs-

fall durch Reduzierung Abfallmengen bzgl. der erheblichen und weiter zunehmenden Endlagerkosten entsprechende positive wirtschaftliche Ergebnisse. Daher lohnt es sich unbedingt in den kommenden Jahren hier weitere Anstrengungen zu investieren.