

Forschungsberichtsblatt

Demontagefabrik im urbanen Raum – Erweiterte Stoffstromanalyse

von

Martin Faulstich, Bernd Benker, Jan Seelig,
Matthias Franke, Katharina Reh

Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH
(CUTEC Institut)

Förderkennzeichen: L75 15005
Laufzeit: 10.11.2014 - 15.05.2015

Die Arbeiten dieses Projekts wurden mit Mitteln
des Landes Baden-Württemberg durchgeführt.

Oktober 2015



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

ZUWENDUNGSGEBER

**Ministerium für Umwelt, Klima
und Energiewirtschaft
Baden-Württemberg**

PROJEKT BETREUER



PTKA
Projektträger Karlsruhe

im Karlsruher Institut für Technologie

**Projektträger Karlsruhe
Baden-Württemberg Programme**

Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

IM UNTERAUFTRAG

**Fraunhofer-Institut für Umwelt-,
Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT
Institutsteil Sulzbach-Rosenberg**

An der Maxhütte 1
92237 Sulzbach-Rosenberg

Leiter
Prof. Dr. rer. nat. Andreas Hornung

IHRE ANSPRECHPARTNER FÜR DIESEN BERICHT

Name	Telefon	E-Mail
Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich	05323 933 124	martin.faulstich@cutec.de
Dr.-Ing. Bernd Benker	05323 933 245	bernd.benker@cutec.de
Dipl.-Biol. Jan Seelig, M. Eng.	05323 933 144	jan.seelig@cutec.de
Dr.-Ing. Matthias Franke	09661 908 438	matthias.franke@umsicht.fraunhofer.de
Dipl.-Ing. Katharina Reh	09661 908 431	katharina.reh@umsicht.fraunhofer.de

Clausthal-Zellerfeld, den 26. Oktober 2015

Inhaltsverzeichnis

1	Forschungsergebnisse – Fortschritte für Wissenschaft und Technik.....	4
1.1	Ergebnisse der Stoffstromanalyse.....	4
1.1.1	Potenziale in Siedlungsabfällen.....	5
1.1.2	Potenziale in gewerblichen Abfällen.....	9
1.1.3	Auswahl relevanter Stoffströme für Demontagefabrik.....	11
1.2	Status quo von Erfassung und Demontage.....	12
1.3	Identifikation möglicher Handlungsfelder.....	12
2	Nutzen und praktische Verwertbarkeit.....	13
3	Konzept für den Ergebnis- und Forschungstransfer	14

1 Forschungsergebnisse – Fortschritte für Wissenschaft und Technik

Die baden-württembergische Landesregierung hat es sich zur Aufgabe gemacht, die langfristige Rohstoffversorgung des Industriestandorts Baden-Württemberg zu sichern. Dazu wurde bereits im Jahr 2013 die „Analyse kritischer Rohstoffe für die Landesstrategie Baden-Württemberg“ beauftragt. In dieser wurden nach Ausarbeiten einer Liste der für die Industrie kritischen Rohstoffe die zehn kritischsten Rohstoffe identifiziert – die sogenannten „Top-10-Rohstoffe“. Abschließend wurden im Rahmen der Studie fünf konkrete Forschungsvorhaben zur Versorgungssicherung (Leuchtturmprojekte) abgeleitet. Eines davon ist die „Demontagefabrik im urbanen Raum“.

Ziel des Projektes „Demontagefabrik im urbanen Raum – Erweiterte Stoffstromanalyse“, als erster Schritt zur Realisierung der Demontagefabrik, war die Identifizierung und Quantifizierung von Abfallströmen, die für die Zuführung in die Demontagefabrik geeignet sind. Dazu wurde die im Rahmen der „Analyse kritischer Rohstoffe für die Landesstrategie Baden-Württemberg“ vorgenommene Analyse der Abfallströme aktualisiert, spezifiziert und erweitert. Unter anderem wurden dabei zusätzliche kommunale Abfallfraktionen berücksichtigt. Zudem wurden auch gewerbliche Abfälle analysiert, die nicht aus den sechs bedeutendsten Wirtschaftszweigen (wie in der erwähnten Studie ausschließlich betrachtet) stammen. Des Weiteren wurden Best-Practice-Beispiele für die Erfassung dieser relevanten Stoffströme betrachtet, um eine gesteigerte Mengenabschöpfung zu erreichen.

Über die reine Stoffstromanalyse hinaus wurden Recherchen zum derzeitigen Stand der Demontage durchgeführt, um eine optimierte Rückgewinnung der kritischen Rohstoffe aus den Abfallströmen umsetzen zu können. Im Projektverlauf erwies sich eine enge Fokussierung auf die Demontage als nicht abschließend zielführend. Daher wurden zusätzlich Recherchen zum heutigen Stand des Recyclings durchgeführt, die der Identifikation vorherrschender Verlustmechanismen dienten. Dabei zeigte sich, dass die Demontage einen hohen Beitrag zum Überwinden dieser Verlustmechanismen leisten kann. Es konnte jedoch außerdem eine Reihe weiterer Möglichkeiten der Vorkonditionierung identifiziert werden, deren Umsetzung hinsichtlich der erwarteten Verbesserungspotenziale sowie des voraussichtlichen Zeitraums für die Markteinführung als ebenso relevant eingestuft wurden. In Abstimmung mit dem Umweltministerium fand daher eine Ausweitung der Thematik auf innovative Recyclingansätze/-verfahren statt, die zum Überwinden der Defizite geeignet erscheinen und eine hohe Realisierungswahrscheinlichkeit aufweisen. Der Fokus lag dabei weiterhin auf Verfahren, die im Rahmen der Demontagefabrik als innovative „Recyclingfabrik“ Anwendung finden können.

1.1 Ergebnisse der Stoffstromanalyse

Bei der Stoffstromanalyse wurde zwischen Siedlungsabfällen und Abfällen aus dem gewerblichen Bereich unterschieden. Im Siedlungsbereich wurde der Fokus auf Elektro- und Elektronik-Altgeräte (EAG), Altfahrzeuge und unbehandelten Restabfall gelegt. Im industriellen Bereich stand die Recherche des Datenstandes zu Abfällen, sortiert nach Abfallschlüsselnummern, im Mittelpunkt.

Die ermittelten Ergebnisse stellen eine bestmögliche Analyse des Verbleibes der Top-10 der

in Baden-Württemberg als kritisch eingestuften Rohstoffe dar.

1.1.1 Potenziale in Siedlungsabfällen

1.1.1.1 Elektro- und Elektronik-Altgeräte

EAG wurden gesondert nach Sammelgruppen betrachtet. Bezugsjahr war das Jahr 2013, da über dieses die aktuellsten vollständigen Daten zu beziehen waren. Neben den Technologiemetallen sind für den wirtschaftlichen Betrieb einer Demontagefabrik auch die Potenziale weiterer Metalle aus EAG zu betrachten. Hier zeigten sich für Baden-Württemberg Eisenmetalle mit einem jährlichen Gesamtpotenzial von etwa 30.000 Mg in EAG vorherrschend. Weitere Zahlenwerte sind folgender Abbildung zu entnehmen (Abbildung 1-1).

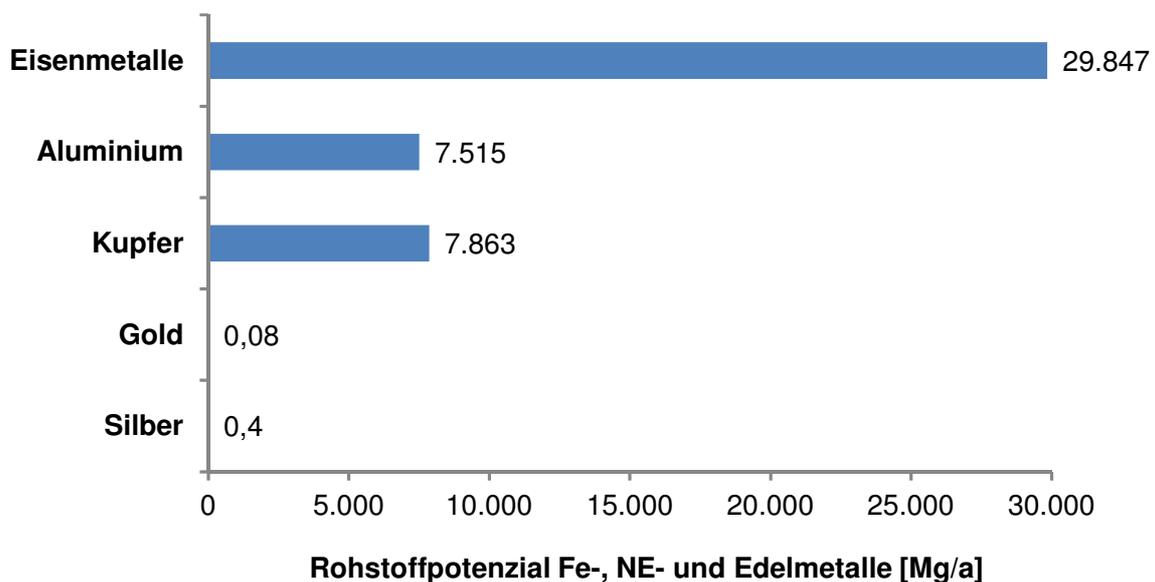


Abbildung 1-1: Theoretisches Gesamtpotenzial Fe-, NE- und Edelmetalle in erfassten EAG in Baden-Württemberg

Unter den in EAG enthaltenen Mengen der Top-10-Rohstoffe zeigt Antimon den deutlich größten Anteil, gefolgt von Kobalt und der Gruppe der Seltenerdmetalle (SEM). Die folgende Abbildung (Abbildung 1-2) stellt die jährlichen Potenziale in baden-württembergischen EAG als Bereiche dar, die sich durch eigene Berechnungen und Literaturangaben ergeben.

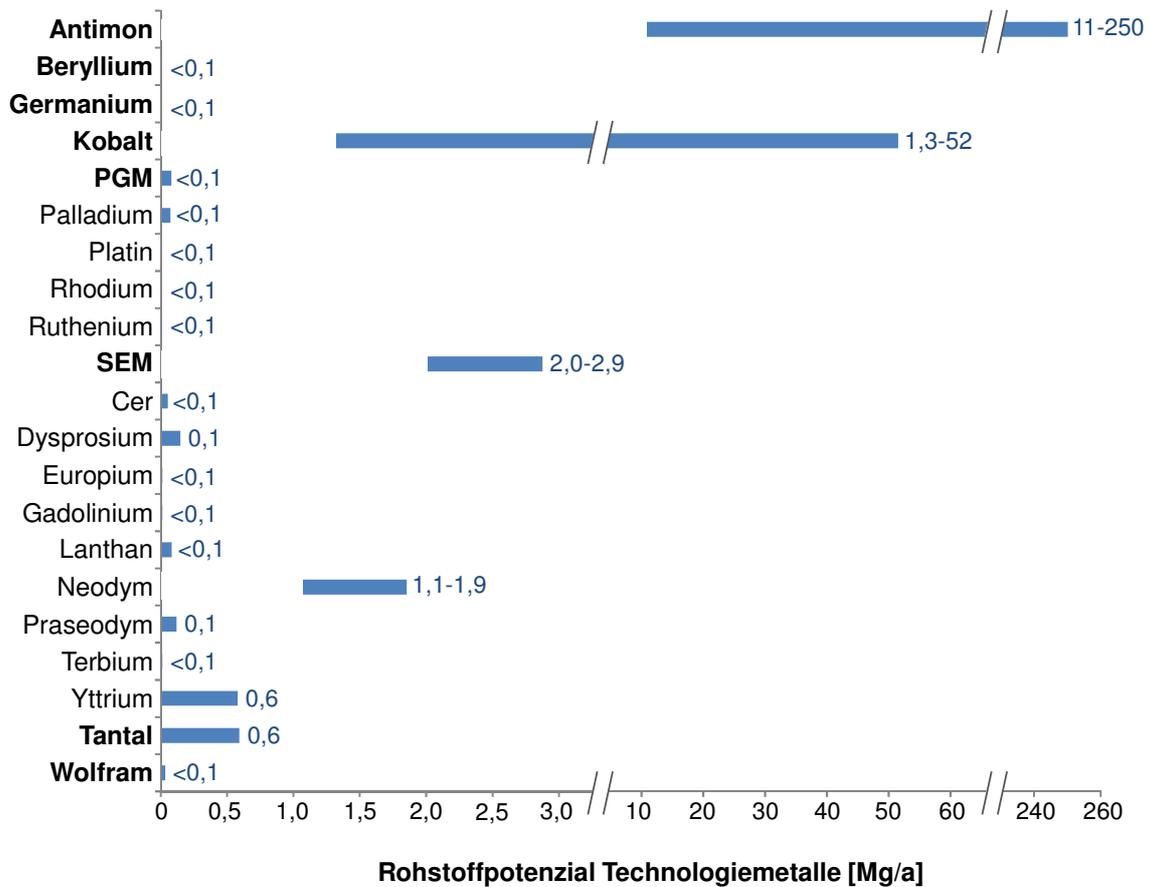


Abbildung 1-2: Theoretisches Gesamtpotenzial Technologiemetalle in erfassten EAG in Baden-Württemberg

1.1.1.2 Altfahrzeuge

Bezüglich der Alt-Kfz wurden Minimal- und Maximalpotenziale ausgewiesen, die sich auf in Demontagebetrieben erfasste Kfz (minimal) bzw. theoretisch verfügbare endgültig stillgelegte Kfz (maximal) beziehen. Berücksichtigt wurden die Bauteile Bremsbeläge, Katalysatoren und Starterbatterien sowie die Fahrzeugelektronik. Folgende Abbildung verdeutlicht die Potenziale (Abbildung 1-3).

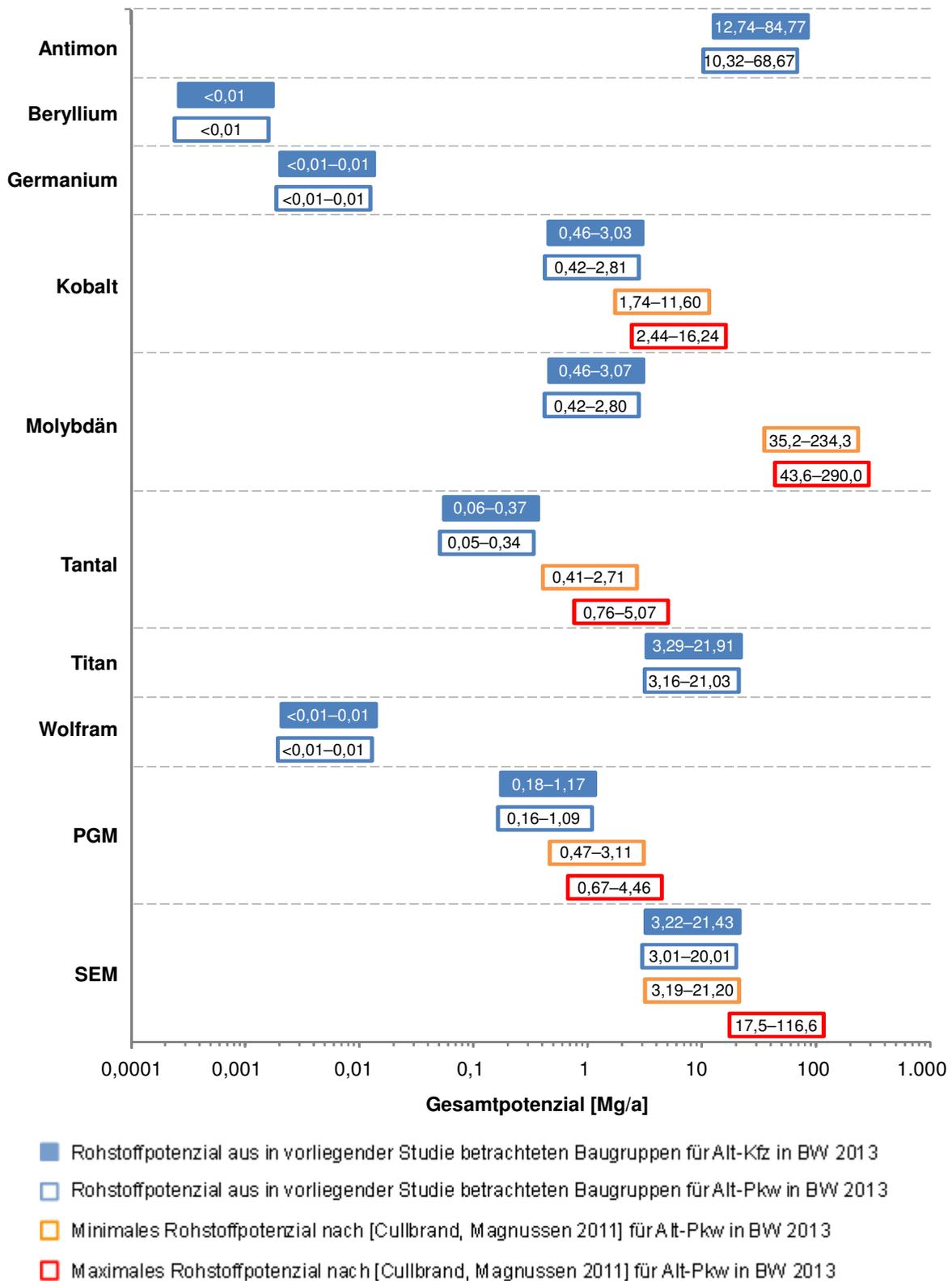


Abbildung 1-3: Rohstoffpotenzial in Alt-Kfz in Baden-Württemberg für das Jahr 2013

Starterbatterien und Katalysatoren werden bereits aus wirtschaftlichen Gründen respektive zwecks Schadstoffentfrachtung aus Alt-Kfz entnommen. Die gezielte Rückgewinnung enthaltener kritischer Rohstoffe ist dabei weiterhin zu verbessern, was aufgrund der vorliegenden Konstruktionsweisen Aufgabe der metallurgischen Aufbereitung ist und daher

nicht im Rahmen einer Demontagefabrik realisiert werden kann. In dieser Hinsicht erscheint vielmehr die Verarbeitung von Bremsbelägen und vorherrschend verschiedenen Elementen der Fahrzeugelektronik interessant. In der Elektronik liegen Potenziale nahezu aller Top-10-Rohstoffe vor. Hohe Anteile wiesen Leiterplatten und Magneten aus Elektromotoren auf.

1.1.1.3 Restabfall

Die im Restabfall befindlichen Potenziale der Top-10-Rohstoffe sind hauptsächlich auf über die Restabfallsammlung fälschlicherweise entsorgte EAG zurückzuführen. Der Restabfall wird in Baden-Württemberg nahezu vollständig verbrannt. Im Sinne der Demontagefabrik sollte eine Abschöpfung im Vorfeld durch verstärkte Getrennterfassung erfolgen. Das aus den EAG im Restabfall abschöpfbare Potenzial an Top-10-Rohstoffen ist in folgender Abbildung (Abbildung 1-4) ersichtlich, die zukünftig aus Gründen der Wirtschaftlichkeit zu betrachtenden Potenziale einiger Massen- und Edelmetalle in Abbildung 1-5.

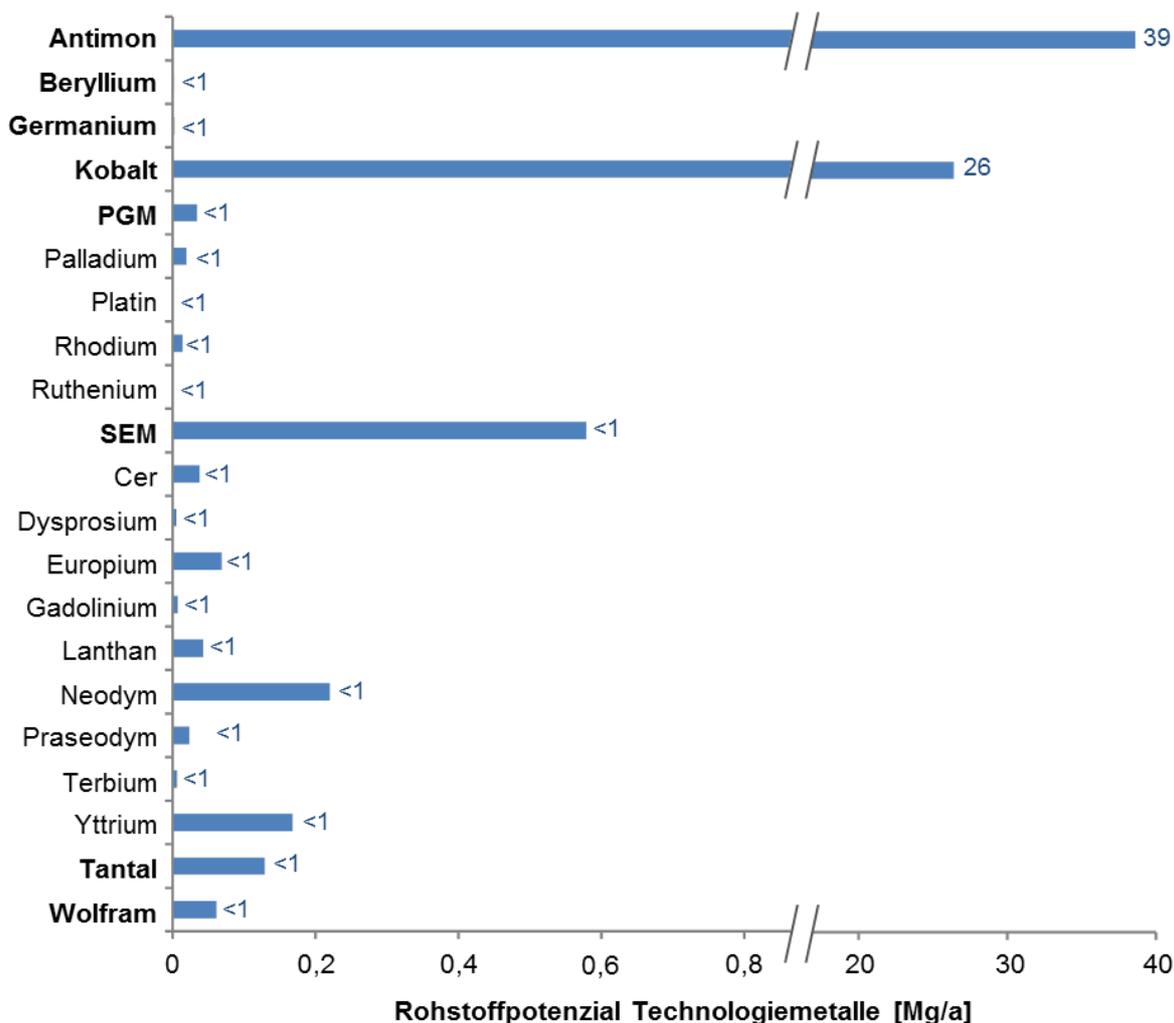


Abbildung 1-4: Gesamtpotenzial der Technologiemetalle in den im Restabfall entsorgten EAG in Baden-Württemberg

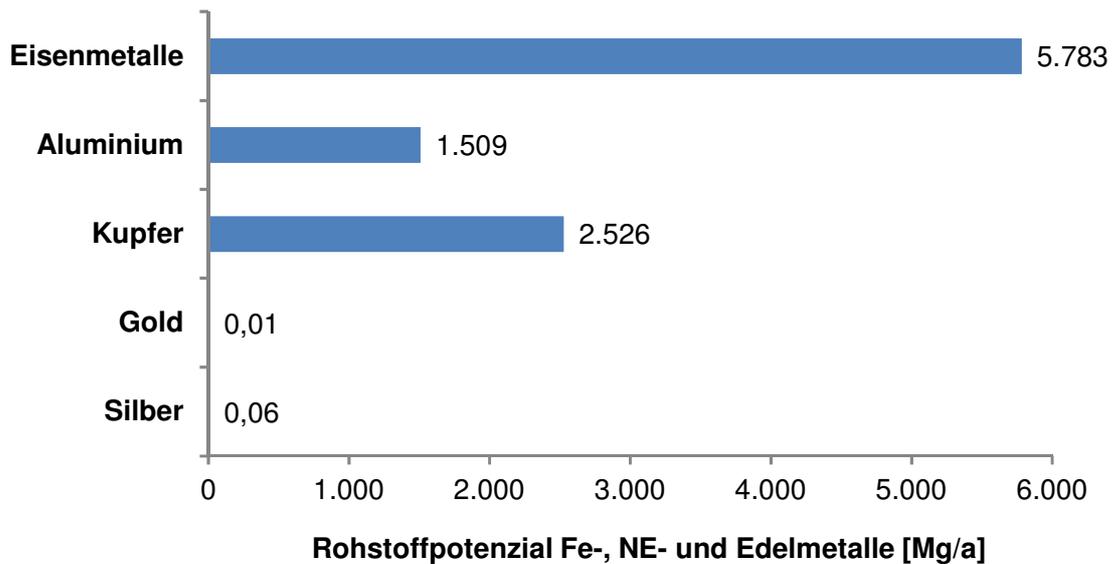


Abbildung 1-5: Gesamtpotenzial Fe-, NE- und Edelmetalle in den im Restabfall befindlichen EAG in Baden-Württemberg

1.1.2 Potenziale in gewerblichen Abfällen

Für die Potenzialerhebung wurden Abfälle nach Abfallschlüsselnummern getrennt betrachtet. Diejenigen Abfallschlüsselnummern, die keine oder nur geringste Mengen an Top-10-Rohstoffe enthalten, wurden aus der Betrachtung ausgeschlossen. Aus den verbleibenden Abfallschlüsselnummern wurden diejenigen ausgewählt, die für die Demontagefabrik als geeignet eingestufte Materialverbunde enthalten. Durch Recherche zur durchschnittlichen stofflichen Zusammensetzung in der Abfallanalysendatenbank ABANDA wurden mangels ausreichender Informationen weitere Abfallschlüsselnummern aussortiert. Verbliebene Kategorien waren letztlich nur „gebrauchte Katalysatoren, gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthaltend“ (Schlüsselnummer 16 08 02*) sowie „gebrauchte Katalysatoren, durch gefährliche Stoffe verunreinigt“ (Schlüsselnummer 16 08 07*). Die darin enthaltenen Potenziale sind in folgender Abbildung dargestellt (Abbildung 1-6).

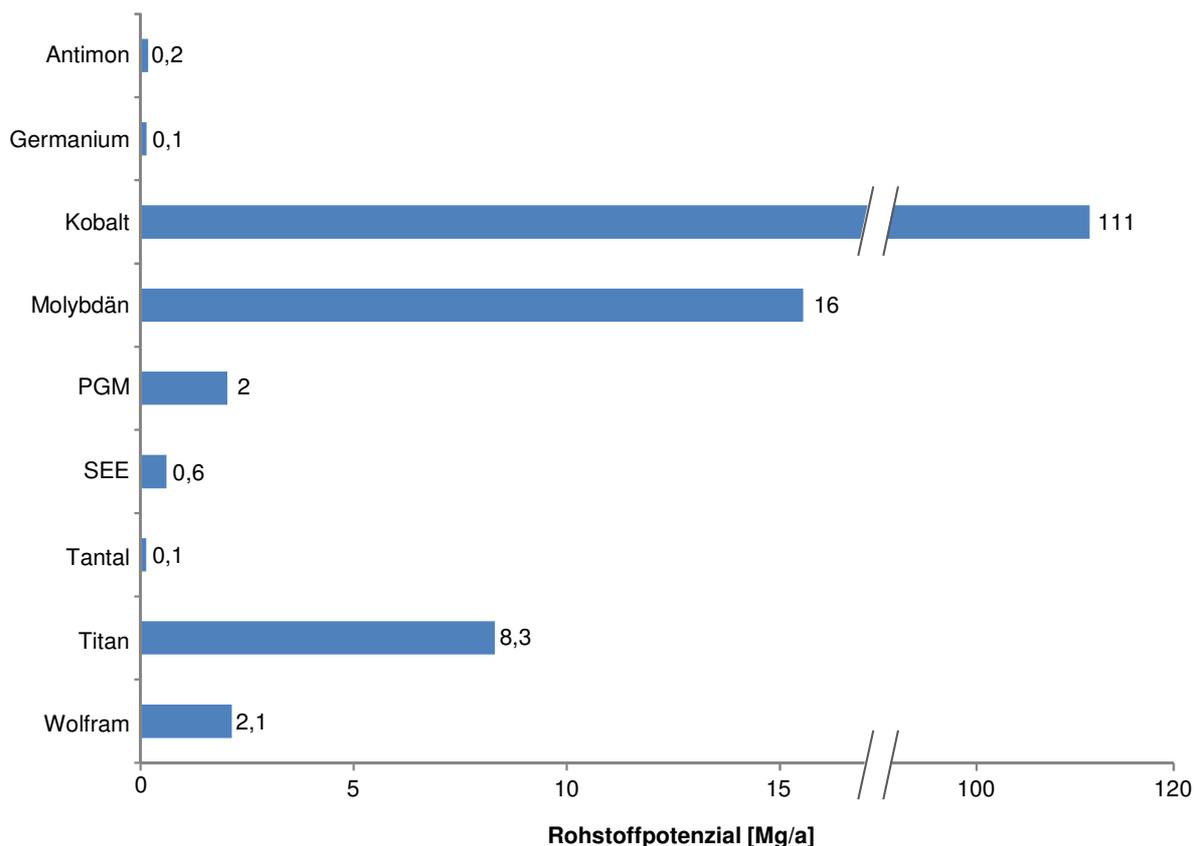


Abbildung 1-6: Identifizierte Potenziale der Top-10-Rohstoffe in entsorgten Katalysatoren, die gefährliche Stoffe enthalten (Abfallschlüsselnummer 16 08 02* und 16 08 07*)

Keine ausreichenden Informationen liegen für „Transformatoren und Kondensatoren, PCB enthaltend“, „gefährliche Bestandteile enthaltende gebrauchte Geräte“ oder „andere Batterien und Akkumulatoren“ vor. Als weitere, hinsichtlich der Top-10-Rohstoffe eventuell interessante Abfälle wurden aufgrund des fehlenden Verbundcharakters z.B. „Metallabfälle, durch gefährliche Stoffe verunreinigt“, „Gemischte Metalle“ oder „Filterstäube aus Kohlefeuerung“ nicht weitergehend berücksichtigt.

Da die Analyse nach Rohstoffgehalten von für eine Demontagefabrik grundsätzlich geeigneten Abfällen aufgrund der unzureichenden Datenlage nach der beschriebenen Vorgehensweise keinen Aufschluss über im gewerblichen bzw. industriellen Bereich interessante Abfallströme geben kann, wurden zudem Wirtschaftszweige mit möglicherweise relevanten Produktionsabfällen identifiziert. Diese sind in Tabelle 1-1 dargestellt.

Tabelle 1-1: Ausgewählte Abfallmengen aus Wirtschaftszweigen, in denen Top-10-Rohstoffe eingesetzt werden

WZ	Metalle [Mg]	Katalysatoren [Mg]	Gebrauchte Geräte, Bauteile, Kabel, Leitungen etc. [Mg]	Batterien, Akkumulatoren [Mg]	Sonstiges ¹ [Mg]
WZ 17	4.611	0	169	49	10
WZ 20	5.193	0	202	6	87
WZ 24	10.647	0	212	44	5
WZ 25	122.029	0	395	30	192
WZ 26	5.971	0	1.284	60	13
WZ 27	42.405	0	2.318	306	26
WZ 28	169.329	1	1.815	219	57
WZ 29	244.241	33	1.547	1.013	68
WZ 30	1.771	0	54	27	1
Summe	606.197	34	7.996	1.754	459

Aufgrund mangelnder Informationen über die Zusammensetzung der Abfallströme waren keine belastbaren Rückschlüsse auf die Gehalte an Zielrohstoffen möglich. Die Datenlage ist demnach stark verbesserungswürdig.

1.1.3 Auswahl relevanter Stoffströme für Demontagefabrik

Für die Fortführung des Leuchtturmprojektes „Demontagefabrik im urbanen Raum“ wurde vorgeschlagen, aus dem Siedlungsabfall- und dem gewerblichen Bereich bezüglich des Sekundärrohstoffgehaltes interessante Stoffströme auszuwählen, die sich im grundsätzlichen Aufbau und Rohstoffgehalt ähneln, sodass ein maximaler Impact aus den zukünftigen Erkenntnissen gewonnen werden kann. Im gewerblichen Bereich erscheinen vor diesem Hintergrund Elektromotoren interessant, die unter anderem in hohem Umfang in der industriellen Fördertechnik eingesetzt werden. Je nach Motorentyp können in diesen die Seltenerdmetalle Neodym und Dysprosium enthalten sein. Zudem enthalten Elektromotoren relevante Mengen an Massenmetallen und teils elektronische Komponenten, die ebenfalls einen bezüglich der Rückgewinnung interessanten Rohstoffgehalt aufweisen können. Elektromotoren kommen in größerem Umfang auch in Altfahrzeugen vor, die außerdem große Potenziale der Top-10-Rohstoffe in weiteren Bauteilen aufweisen und daher Gegenstand der zukünftigen Betrachtungen sein sollten. Bezüglich der Elektromotoren ist die Datenlage für

¹ Bremsbeläge, Transformatoren und Kondensatoren, Tonerkartuschen, Gasentladungslampen, Leuchtstoffröhren.

eine umfassende Abschätzung nicht ausreichend. Diese soll daher im Verlauf des Folgeprojektes verbessert werden.

1.2 Status quo von Erfassung und Demontage

In den Kapiteln 2.2 und 2.3 des Abschlussberichtes wurde der derzeitige Status quo der Erfassung (Kap. 2.2) sowie der Demontage (Kap. 2.3) von EAG, Altfahrzeugen – und gesondert auch der Elektromotoren aus dem industriellen Bereich – dargestellt. Durch die eingehende Betrachtung konnten bestehende Defizite identifiziert werden. Durch Darstellung innovativer Ansätze wurden Handlungsoptionen zur qualitativen und quantitativen Verbesserung des Recyclings dargestellt, welche in die zukünftige Planung der Demontagefabrik einfließen sollen.

1.3 Identifikation möglicher Handlungsfelder

Eine große Herausforderung ist die Wiedergewinnung hochwertiger Materialien aus dem Abfallstrom. Bei der derzeitigen Praxis ist eine Getrennterfassung unterschiedlicher Legierungen beispielsweise nicht gegeben. Somit kommt es zu großen Verlusten durch „Verdünnung“ von in der Nutzungsphase noch relativ konzentriert vorliegenden Rohstoffen. Statt eines Recyclings findet daher in der Praxis oftmals ein Downcycling statt. Ein möglicher Handlungsansatz ist somit die Verbesserung der Getrennterfassung, um die Zufuhr der Materialien in die geeignete Recyclingroute sicherzustellen. Dies ist jedoch nur bis zu einem gewissen Grad technisch wie wirtschaftlich möglich und ökologisch sinnvoll.

Im Fall der Top-10-Rohstoffe ist eine Vorkonzentration nötig, um eine Wirtschaftlichkeit der metallurgischen Wiedergewinnung zu erreichen. Es konnte gezeigt werden, dass dies durch eine gezielte Demontage ermöglicht werden kann. Die manuelle Demontage ist jedoch mit teils hohen Lohnkosten verbunden, sodass die maschinelle Behandlung in einigen Fällen zielführender sein kann.

Bei der derzeitigen Abfallbehandlung in Deutschland werden die meisten Abfälle im Zuge der Aufbereitung wenigstens einmal maschinell sortiert, um Zielmaterialien aus gemischten Stoffströmen zu separieren. Die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Technik und das Spektrum der sortierfähigen Materialien haben sich seit den 1990er Jahren enorm weiterentwickelt und werden auch weiterhin stetig verbessert. Eine schnelle Marktdurchdringung leistungsfähiger Neuentwicklungen würde einen entscheidenden Beitrag zur Verbesserung der Metallrückgewinnung leisten. Forschungsansätze, die für ein verbessertes Recycling der Top-10-Rohstoffe geeignet sind und im Rahmen der Demontagefabrik umsetzbar wären, wurden daher im Projektverlauf identifiziert und dargestellt. Diesen kann durch Verwirklichung im Rahmen der Demontagefabrik die Überführung vom Stand der Forschung zum Stand der Technik ermöglicht werden.

2 Nutzen und praktische Verwertbarkeit

Das Projekt „Demontagefabrik im urbanen Raum – Erweiterte Stoffstromanalyse“ ist als Vorstudie für das beantragte Folgeprojekt „Demontagefabrik im urbanen Raum – Konzeption und Planung“ vorgesehen. Die bisher identifizierten Ergebnisse dienen einerseits der Fokussierung auf geeignete Modellstoffströme, anhand derer die Demontagefabrik einen Beitrag zur Rückgewinnung von Top-10-Rohstoffen leisten kann, und fließen andererseits in das zu erarbeitende Konzept zur Ausgestaltung ein.

Das Projekt ist daher als grundlegender Baustein auf dem Weg zur Verwirklichung der Demontagefabrik im urbanen Raum aufzufassen. Deren übergreifendes Ziel ist es, einen zukunftsweisenden Beitrag zur Sicherung der Rohstoffversorgung der baden-württembergischen Schlüsselindustrien zu leisten. Im Hinblick auf den Wandel der derzeitigen Produktion hin zur Industrie 4.0 ist zukünftig mit einer deutlichen Zunahme der industriellen Automatisierung zu rechnen. Nur durch das Bereitstellen einer bestmöglichen Rohstoffrückgewinnung kann der sich aus diesem Wandel ergebende zusätzliche Rohstoffaufwand auch aus ökologischer Sicht als sinnvoll und fortschrittlich erachtet werden. Die geplante Nähe der Aufbereitung von Produktions- und Wartungsabfällen zu den Orten des Aufkommens schafft zusätzliche Beschäftigungs- und Wertschöpfungsoptionen.

Die durch die Demontagefabrik im urbanen Raum ermöglichte, direkte Kreislaufschließung trägt in diesem Kontext zu der Etablierung ultraeffizienter Fabriken bei. In dem beantragten Folgeprojekt wird daher die Anbindung der Demontagefabrik an das an den Fraunhofer Instituten IPA (Produktionstechnik und Automatisierung), IAO (Arbeitswirtschaft und Organisation) und IGB (Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik) angesiedelte Projekt „Ultraeffizienzfabrik im urbanen Umfeld“ erfolgen.

Unter Betrachtung des Gesamtkontextes sorgt die Demontagefabrik für die Verbesserung der Ressourceneffizienz auch über die baden-württembergischen Landesgrenzen hinaus und leistet somit einen großen Beitrag zur Umsetzung der bundesweiten Ressourceneffizienzziele, wie sie im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) definiert sind.

Durch die geplante Verwirklichung der Demontagefabrik wird diese selbst eine deutliche Außenwirkung entfalten. Dies würde nicht nur zur Veröffentlichung der ermittelten Ergebnisse beitragen, sondern auch neuartigen Ansätzen im Recyclingbereich zur Realisierung verhelfen. Die Vorbereitung und Umsetzung von Modellprojekten wird maßgeblich zum Schließen der Lücke zwischen dem Stand der Forschung und dem Stand der Technik beitragen, durch die oftmals bereits entwickelte, sinnvolle Konzepte nicht in die Anwendung gelangen.

Langfristig betrachtet wird die Demontagefabrik als Innovationskeim dienen und den Wandel hin zur nachhaltigen Industriegesellschaft vorantreiben.

3 Konzept für den Ergebnis- und Forschungstransfer

Für den Ergebnis- und Forschungstransfer sind verschiedene Wege geplant. Zunächst ist festzuhalten, dass die im ersten Teilprojekt „Demontagefabrik im urbanen Raum – Erweiterte Stoffstromanalyse“ erarbeiteten Ergebnisse als direkte Basis für die Durchführung des Folgeprojektes „Demontagefabrik im urbanen Raum – Konzeption und Planung“ dienen werden. Die Ergebnisse werden der Öffentlichkeit einerseits durch Vorträge im Rahmen fachspezifischer Veranstaltungen präsentiert. Des Weiteren wird der Dialog mit gesellschaftlichen und fachtechnischen Akteuren gesucht, was unter anderem im Rahmen von Expertengesprächen in dem beantragten Folgeprojekt geplant ist.

Ein weiterer Faktor, der den Transfer der Ergebnisse gewährleisten wird, ist die Einrichtung einer Internetpräsenz zur Thematik der Demontagefabrik, welche ebenfalls im Rahmen des Folgeprojektes vorgesehen ist und die Informationsvermittlung auf breiter Basis ermöglicht. Diese wird als zusätzlichen Benefit das Konzept Demontagefabrik an die Industrie vermitteln und so bereits potenzielle Industriepartner für die letztliche Verwirklichung der Demontagefabrik gewinnen.

Der Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis ist ein zentraler Gedanke hinter dem gesamten Konzept der Demontagefabrik im urbanen Raum. Wie im vorhergehenden Kapitel erwähnt, würde die Realisierung der Demontagefabrik die Umsetzung innovativer Forschungsansätze in die Recyclingpraxis forcieren. Die Demontagefabrik würde somit Forschungsergebnisse greifbar und erlebbar machen und durch die Darstellung einer neuen Stufe der „best practice“ eine Funktion als Multiplikator einnehmen.