

Perspektiven der zunehmenden Fahrzeugelektronik für das Altfahrzeugrecycling

Regina Kohlmeyer, Matthias Groke, Knut Sander und Maik Bergamos

1.	Die Altfahrzeugverwertung auf eine neue Stufe heben	184
1.1.	Stufen 1 bis 3: Schadstoffentfrachtung und Kreislaufführung	184
1.2.	Stufe 4: Hochwertige Verwertung und Ressourceneffizienz.....	184
2.	Recyclingpotenzial der Fahrzeugelektronik	185
3.	Demontage von Bauteilen und Materialien zur Rückgewinnung von Edel- und Sondermetallen aus Altfahrzeugen.....	188
3.1.	<i>30er Liste</i> der relevanten Komponenten der Fahrzeugelektronik und <i>11er Liste</i> der Fahrzeugstichprobe	189
3.2.	Demontage der Fahrzeugelektronik und ermittelte Demontagezeiten.....	190
3.2.1.	Ablauf der Demontage	190
3.2.2.	Bestimmung der Demontagezeit	190
3.2.3.	Ergebnisse	191
3.3.	Komponenten und Wirtschaftlichkeitsberechnung	193
3.3.1.	Grunddaten.....	193
3.3.2.	Zusammensetzung der Komponenten.....	194
3.3.3.	Wirtschaftlich separierbare Komponenten	196
3.3.4.	Grenzen der Wirtschaftlichkeit.....	197
3.3.5.	Neodymhaltige Komponenten	198
4.	Schlussfolgerungen und weitere Schritte	199
4.1.	Verbesserung der Informationslage zur Demontage von Fahrzeugelektronik.....	200
4.1.1.	Informationslage und -bedarf zu Gehalten und Demontage von Edel- und Sondermetallen in Fahrzeugelektronik.....	200
4.1.2.	Mögliche Informationsquellen und Gestaltung des Informationsflusses	202
4.2.	Effiziente Gestaltung der Behandlungskette für separierte Fahrzeugelektronik.....	203
4.3.	Weitere Impulse zur Steuerung der Stoffströme zur Stärkung der Ressourceneffizienz in der Altfahrzeugverwertung.....	204
5.	Quellen	204

1. Die Altfahrzeugverwertung auf eine neue Stufe heben

1.1. Stufen 1 bis 3: Schadstoffentfrachtung und Kreislaufführung

Eine wichtige Aufgabe der EG-Altfahrzeug-Richtlinie aus dem Jahr 2000 war es, das Umweltproblem der wild im Wald oder an Straßenrändern abgestellten Altfahrzeuge zu lösen. Hierzu wurden eine Rücknahmepflicht der Fahrzeughersteller und Anforderungen an die Vorbehandlung und Trockenlegung der Altfahrzeuge in den Demontagebetrieben implementiert. Im Rückblick haben die Maßnahmen in Deutschland eine nachhaltige Wirkung gezeigt: herrenlose Altfahrzeuge gibt es kaum mehr und für die Altfahrzeugverwertung stehen gut 1.200 Demontagebetriebe mit einer Anerkennung nach der Altfahrzeugverordnung bereit (Tabelle 1).

Tabelle 1: Bisherige und zukünftige Herausforderungen der Altfahrzeugverwertung

Stufe	Ziele der Altfahrzeugverwertung	Stand der Zielerreichung
Stufe 1	Ordnungsgemäße Behandlung und Schadstoffentfrachtung	✓ Mehr als 1.200 anerkannte Demontagebetriebe in Deutschland Kaum wild abgestellte, herrenlose Altfahrzeuge ! Klärung der statistischen Lücke des Fahrzeugverbleibs
Stufe 2	Quoten ab 2006: - Recyclingquote 80 % - Verwertungsquote 85 %	Stand 2012 * ✓ Erreicht in fast allen EU-Mitgliedstaaten ✓ Erreicht in fast allen EU-Mitgliedstaaten
Stufe 3	Quoten ab 2015: - Recyclingquote 85 % - Verwertungsquote 95 %	Stand 2012 * +/- Erreicht in 11 EU-Mitgliedstaaten +/- Erreicht in 6 EU-Mitgliedstaaten
Stufe 4	Hochwertige Verwertung und Ressourceneffizienz	Zukünftige Herausforderungen: ! - Hochwertige Verwertung der in den Schredderrückständen enthaltenen Wertstoffe ! - Rückgewinnung von Edel- und Sondermetallen aus Fahrzeugelektronik, Elektromotoren, Traktionsbatterien ! - Hochwertige Verwertung neuer Werkstoffe (z.B. CFK, Speziallegierungen)

Quelle: * Europäische Kommission, Eurostat: Environmental Data Centre on Waste: Altfahrzeuge – Daten. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams/elvs>

Derzeit hat die Altfahrzeugverwertung in Europa die nächste Stufe erreicht und ist dabei, die dritte Stufe zu erklimmen. Auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft erreichen mittlerweile fast alle EU-Mitgliedstaaten die 2006er Recycling- und Verwertungsziele, einige übertrafen bereits im Jahr 2012 die anspruchsvollen 2015er Vorgaben [11]. Auch die Quotenentwicklung in Deutschland ist erfolgreich: Bereinigt um die Nachwirkungen der Umweltprämie auf die Altfahrzeugverwertung wurden im Jahr 2012 rund 99 Prozent des Altfahrzeuggewichts verwertet, davon rund 88 Prozent stofflich [3].

1.2. Stufe 4: Hochwertige Verwertung und Ressourceneffizienz

Für die nächsten Jahre stellen sich verstärkt die Hochwertigkeit der Verwertung und die Ressourceneffizienz als Herausforderung.

Dies betrifft bereits die aktuell anfallenden Altfahrzeuge. Etwa 30 Prozent der in Deutschland jährlich anfallenden rund 400.000 bis 500.000 Tonnen Schredderleichtfraktion stammen aus der Behandlung von Altfahrzeugen. Die Schredderleichtfraktion enthält noch große Anteile an verwertbaren Materialien, nach [10] beispielsweise rund 23 Prozent Elastomere (z.B. Gummi), 28 Prozent sonstige Kunststoffe, 12 Prozent Glas und 11 Prozent Metalle. Hier besteht noch ein hohes Potential, mehr Ressourceneffizienz zu verwirklichen, da derzeit nur ein Bruchteil des enthaltenen Glases und Kunststoffs bei der Altfahrzeugdemontage separiert und werkstofflich verwertet wird und die Schredderleichtfraktion größtenteils in eher *minderwertige* Verwertungspfade wie energetische Verwertung/Abfallverbrennung oder Bergversatz und Deponiebau gelangt.

In den nächsten Jahren wird die Herausforderung durch den verstärkten Einsatz neuer Materialien und einen steigenden Ausstattungsgrad in Kraftfahrzeugen wachsen. Dadurch steigt das Potenzial an Edel- und Sondermetallen mit wirtschaftsstrategischer Bedeutung und Umweltrelevanz in den zukünftigen Altfahrzeugen.

An der Verbesserung der Rückgewinnung und Kreislaufführung von Sekundärrohstoffen besteht ein gemeinsames Interesse der Politik und Industrie. Das Ressourceneffizienzprogramm der Bundesregierung fordert beispielsweise die möglichst weitgehende Schließung der Stoffkreisläufe am Ende der Nutzungsphase für seltene und strategische Metalle [4]. Zur Sicherstellung einer Rohstoffversorgung und Reduzierung der Importabhängigkeit setzt die deutsche Industrie auch auf die Abfallverwertung. Diese verringert außerdem den Primärrohstoffeinsatz und schont die Rohstoffbasis [5].

2. Recyclingpotenzial der Fahrzeugelektronik

Der Ausstattungsgrad moderner Fahrzeuge mit Elektrik- und Elektronikkomponenten erhöht sich beständig (Bild 1). Neben Komponenten, mit denen fast alle Fahrzeuge schon seit vielen Jahren ausgestattet sind, wie Radios oder Servolenkungen, sind mittlerweile auch Ausstattungen zu finden, die vor 15 Jahren noch nicht weit verbreitet waren, wie Klimaanlage oder Navigationssysteme. Assistenzsysteme wie Einparkhilfen und Abstandsradar oder Kamera mit Verkehrszeichenerkennung zeigen zunehmende Verbreitung.

Entsprechend wird durch den zunehmenden Einsatz von Fahrzeugelektronik in den nächsten Jahren der Gehalt an strategischen und/oder kritischen Rohstoffen mit teilweise hoher Umweltrelevanz, wie Gold, Silber, Palladium, Tantal und Seltene Erden, in den zukünftigen Altfahrzeugen stetig steigen. Neben etwa 20 bis 30 Kilogramm Kupfer und mehreren Gramm Platin oder Palladium im Katalysator enthalten Fahrzeuge neuerer Baujahre beispielsweise etwa 3 Gramm Silber und 0,3 Gramm Gold (Tabelle 2) – überwiegend in Leiterplatten, z.B. in Steuergeräten – sowie etwa 2 bis 20 Gramm des Seltenerdelements Neodym – insbesondere in Elektromotoren und hochwertigen Lautsprechern [6, 9, 17, 19].

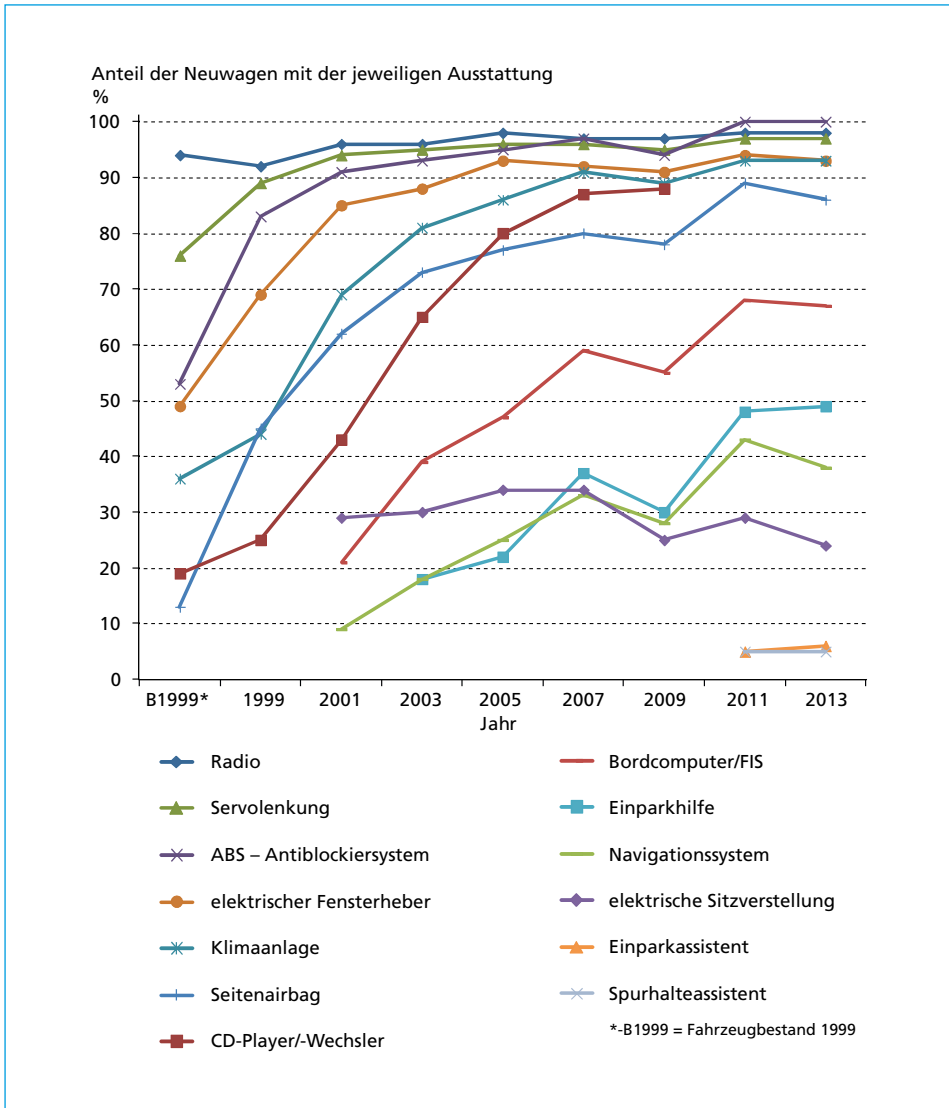


Bild 1: Verbreitungsgrad ausgewählter Ausstattungskomponenten der Neuwagen in Deutschland seit 1999

Quelle: Deutsche Automobil Treuhand GmbH: DAT-Report 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014. <http://www.dat.de/angebote/verlagsprodukte/dat-report.html>

Enthielt die erste VW Golf-Generation (Baujahre 1974-1983) mit dem Motorsteuergerät maximal ein einziges Steuergerät, so stieg diese Zahl kontinuierlich an, beispielsweise auf bis zu 28 Steuergeräte im VW Golf 5 (Baujahre 2003-2008) [15] (Bild 2). Ein aktueller VW Golf 7 enthält mittlerweile 60 elektronische Bauteile, in denen insgesamt 2,4 kg edelmetallhaltige Leiterplatten enthalten sind [19].

Tabelle 2: Gegenüberstellung des Goldgehalts pro Pkw aus vier Literaturquellen

Quelle	Untersuchte Fahrzeuge	Untersuchte Komponenten	Datenherkunft	Goldgehalt pro Fahrzeug
Sakai et al. 2013	1 Fahrzeug von 1997	Leiterplatten (Steuergeräte)	Chemische Analysen	0,4 g
Du et al. 2014	100 Fahrzeuge von 2000-2010	Elektro(nik)-komponenten	Chemische Analysen	0,2 g
Schmid, Zur-Lage 2014	8 VW Modelle von 2010-2013	Leiterplatten	Chemische Analysen	0,3 g
Cullbrand, Magnusson 2012	4 Volvo Modelle von 2011 (u. älter)	Gesamtes Fahrzeug	IMDS	5 bis 7 g

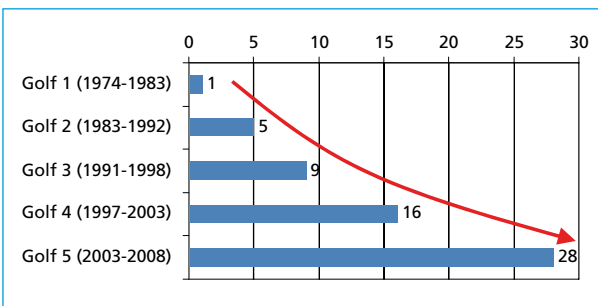


Bild 2:

Potenzielle Anzahl an Steuergeräten in Fahrzeugen verschiedener Generationen, am Beispiel des Volkswagen Golf

Quelle: Knode, M.: Abschlusspräsentation ReECar – Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Gebrauchteilen in der Kfz-Elektronik, 13.11.2008

Die verstärkte Rückgewinnung der Edel- und Sondermetalle aus Altfahrzeugen kann zukünftig einen bedeutsamen Beitrag zu Ressourcenschonung und Rohstoffsicherheit leisten, denn das in aktuellen Fahrzeugen verbaute Gesamtmetallpotenzial steht dem von Elektro- und Elektronikgeräten teilweise nicht nach, siehe Bild 3. Legt man beispielhaft die Metallgehalte eines aktuellen Pkw nach [6] und die derzeitigen Altfahrzeugmengen zu Grunde, können insbesondere die Metalle Gold, Silber, Palladium, Neodym und Tantal in den zukünftigen Altfahrzeugen die Größenordnungen der Elektrogeräte erreichen.

Zurzeit werden jedoch bei der Altfahrzeugverwertung in Demontage- und Schredderbetrieben die Edel- und Sondermetalle gewöhnlich nicht gezielt zurückgewonnen. Schredderanlagen sind technisch nicht primär auf die Rückgewinnung von geringkonzentrierten kritischen Rohstoffen ausgerichtet. Laut [9] gelangen bei einer Bilanz über die Outputfraktionen eines Schredders über 90 Prozent des enthaltenen Goldes und des Neodyms in die Schredderleichtfraktion und den feinen Siebdurchgang.

Verfügbare Postschreddertechniken vermögen Edelstahl, Aluminium und Kupfer überwiegend auszusortieren. Restmetallgehalte von unter 1 Prozent in nachsortierter Schredderleichtfraktion sind praktisch realisierbar. Jedoch verbleiben gerade von den fein verteilten Edel- und Sondermetallen in den Restfraktionen der Postschredderbehandlung noch relevante Mengen. So wurden in der Feinfraktion der Schredderleichtfraktion, die nach der sensorgestützten Sortierung in einer untersuchten Postschredderanlage als Restfraktion anfiel, Silbergehalte in der Größenordnung von rund 100 ppm ermittelt, die sich auf Silberverluste von rund 45 kg/a trotz Postschreddertechnik aufsummierten [20].

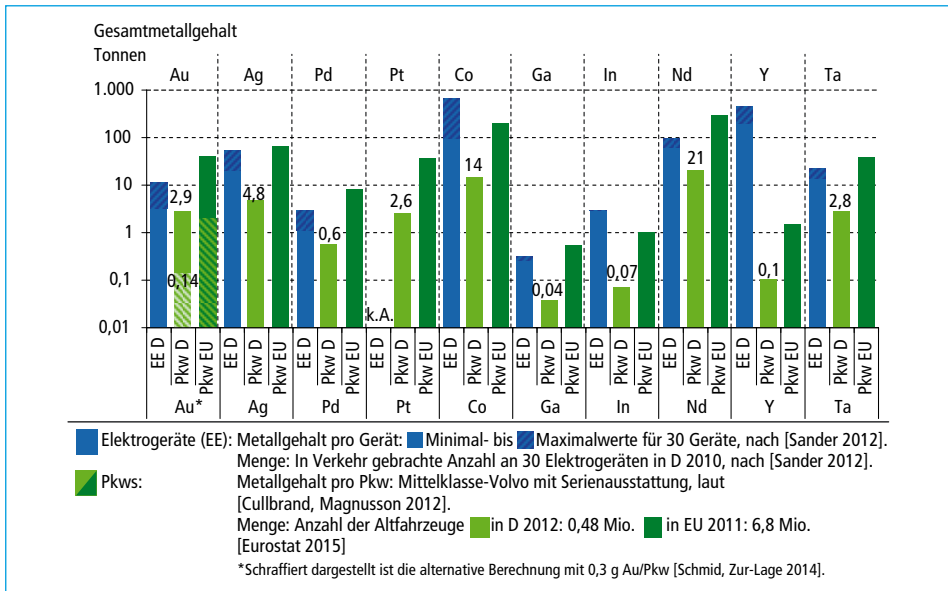


Bild 3: Gesamtpotenzial an Edel- und Sondermetallen in Pkws neuerer Baujahre am Beispiel eines Mittelklasse-Volvo mit Serienausstattung, hochgerechnet auf die derzeitige Anzahl der Altfahrzeuge in Deutschland (D) und der EU. Vergleich mit dem Metallgehalt in dreißig Arten von Elektrogeräten aus dem Jahr 2010 (logarithmische Skala)

Quellen: Sander, K.; Schilling, S.; Marscheider-Weidemann, F.; Wilts, H.; von Gries, N.; Hobohm, J.: Abfallwirtschaftliche Produktverantwortung unter Ressourcenschonungsaspekten (RePro). Meilensteinbericht August 2012. In Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3711 95 318. http://www.oekopo.de/archiv/material/603_RePro_Meilensteinbericht_1.pdf

Cullbrand, K.; Magnusson, O.: The Use of Potentially Critical Materials in Passenger Cars. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, Report No. 2012:13. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/162842.pdf>

Europäische Kommission, Eurostat: Environmental Data Centre on Waste: Altfahrzeuge – Daten. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams/elvs>

Schmid, D.; Zur-Lage, L.: Perspektiven für das Recycling von Altfahrzeugen – moderne Fahrzeuge und angepasste Recyclingverfahren. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.: Recycling und Rohstoffe, Band 7. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 2014

3. Demontage von Bauteilen und Materialien zur Rückgewinnung von Edel- und Sondermetallen aus Altfahrzeugen

Erstes und höchstwertiges Ziel der Altfahrzeugverwertung ist die Gewinnung von gebrauchten Ersatzteilen zur Vermarktung. Wo dies nicht mehr möglich ist, stellt die stoffliche Verwertung die nächstbeste Verwertungsoption dar. Aufgrund der Grenzen der (Post-)Schreddertechniken erscheint die manuelle – bei Bedarf zerstörende – Demontage der edel- und sondermetallhaltigen Komponenten aus Altfahrzeugen als viel versprechende Variante, die weitgehende Rückgewinnung der zunehmenden Menge an strategischen und umweltrelevanten Metallen zu realisieren.

Daher untersuchte die Callparts Recycling GmbH in Kooperation mit der Ökopol GmbH und der ELPRO Elektronik-Produkt Recycling GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes die Demontage von Fahrzeugelektronik aus Altfahrzeugen näher [12]: Die relevantesten Komponenten der Fahrzeugelektronik wurden identifiziert sowie praktische Separationsversuche zur Ermittlung des Demontageaufwandes und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt.

3.1. 30er Liste der relevanten Komponenten der Fahrzeugelektronik und 11er Liste der Fahrzeugstichprobe

Tabelle 3: 30er-Liste der relevanten Komponenten der Fahrzeugelektronik inklusive Ersatzkomponenten

Gruppe	Nr.	Komponente	Prio *
Motoren und Magnetanwendungen	1	Heizlüfter	2
	2	Lenkung Servomotor	2
	3	Anlasser	1
	4	Kühlerlüfter	2
	5	Lautsprecher	2
	6	Türverschluss	2
	7	Lichtmaschine	2
	8	Heckklappenschließmotor	3
	9	elektrische Sitzverstellung	3
	10	Kraftstoffpumpe	3
	11	Pumpe Scheibenwäscher	3
	12	Wischermotor	2
	13	Scheibenheber	2
	14	Spiegeljustierung	3
Bildschirme	15	Navigationssystem	2
	16	Instrumente	1
	17	Multifunktionsanzeige	1
Steuergeräte	18	Inverter/Controller	1
	19	Steuergerät Motor	1
	20	Steuergerät elektronische Getriebebesteuerung	2
	21	Steuergerät ABS	2
	22	Steuergerät Fahrwerk	1
	23	Steuergerät Lenkung	1
	24	Steuergerät Alarm/Diebstahl	2
	25	Steuergerät Klima	2
	26	Steuergerät Airbag	1
Verteilerboxen	27	Smarte Verteilerboxen	1
	28	Passive Verteilerboxen mit Leiterplatten	2
Licht	29	Leuchte hinten	1
	30	Kombileuchte vorn	2
	31	Blinker	1
Sensoren	32	ABS-/Raddrehzahlsensor	3
	33	Nockenwellensensor	2
	34	Kurbelwellensensor	3
	35	Lambdasonde/Sauerstoffsensoren	1
	36	Ultraschall, Nahdistanzradar	1
	37	Radar	1
	38	Airbagsensoren	1
	39	Klimasensoren	3
	Aktuatoren	40	Zündkerze
41		Einspritzeinheit	3

*) Priorität für die Separation (bezogen auf das zugehörige Subsystem)

Quelle: Groke, M.; Kaerger, W.; Sander, K.; Bergamos, M.: Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (O.R.K.A.M.). Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3713 33 337. Ketzin, Januar 2015. Veröffentlichung in Vorbereitung

Durch eine umfangreiche Recherche zur Zusammensetzung von Fahrzeugelektronikkomponenten und Expertengespräche wurden aus 117 Komponenten mit möglicher Relevanz 30 relevante Komponenten für die praktischen Demontageversuche ausgewählt (Priorität 1 und 2, Tabelle 3), zuzüglich einer für Hybridfahrzeuge typischen Komponente (Inverter) sowie 10 Ersatzkomponenten (Priorität 3) für den Fall, dass in einem Fahrzeug der Stichprobe Komponenten der Prioritäten 1 und 2 nicht verfügbar waren.

Für die Demontageversuche wurden zunächst 10 junge Altfahrzeuge ausgewählt. Durch ihr geringes Alter von nur einem bis zwei, ausnahmsweise fünf Jahren geben sie die Möglichkeit, Aussagen über Altfahrzeuge der Zukunft zu treffen. Bei den ausgewählten Fahrzeugen handelte es sich um Modelle mit möglichst guter Platzierung aus den mengenmäßig stärksten Fahrzeugsegmenten der Neuzulassungen 2013 [2]. Aus dem größten Segment *Untere Mittelklasse* wurde zudem ergänzend ein weiteres Fahrzeug eines anderen Herstellers ausgewählt, um die Markenvielfalt zu erhöhen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Ausgewählte Fahrzeuge für die Demontageversuche der Fahrzeugelektronik

Nr.	Segment	Neuzulassungen in Deutschland 2013*		Platzierung des ausgewählten Fahrzeugs im Segment	Modelljahr
		Absolut	Anteil des Segments		
1	Untere Mittelklasse	705.955	24 %	1	2013
11				> 10	2012
2	Kleinwagen	417.015	14 %	1	2014
3	Mittelklasse	400.410	14 %	1	2014
4	Kleinstwagen	266.412	9 %	8	2013
5	Geländewagen medium	210.861	7 %	1	2013
6	Minivan	179.212	6 %	1	2013
7	Geländewagen groß (HYBRID)	63.915	2 %	1	2012
8	Hochdachkombi	56.626	2 %	1	2009
9	Großraumlimousine	43.619	1 %	1	2013
10	Oberklasse (Geländewagen mit gehobener Ausstattung)	25.170	1 %	3	2013

* AUTOHAUS.DE: Rubrik Daten & Studien, Marktdaten zum Download – Hersteller, Konzerne, Modelle und Segmente im Detail, Archiv: Neuzulassungen Dezember 2013, http://www.autohaus.de/sixcms/media.php/2141/Segmente_12_2013.pdf, Zugriff: Mai 2014

Quelle: Groke, M.; Kaerger, W.; Sander, K.; Bergamos, M.: Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (O.R.K.A.M.). Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3713 33 337. Ketzin, Januar 2015. Veröffentlichung in Vorbereitung

3.2. Demontage der Fahrzeugelektronik und ermittelte Demontagezeiten

3.2.1. Ablauf der Demontage

Für die Demontageversuche wurde die Separation der Fahrzeugelektronikkomponenten in den Ablauf der standardmäßigen Behandlung nach Altfahrzeugverordnung integriert. Die Arbeiten wurden von einem sehr versierten Kfz-Mechaniker durchgeführt, wodurch eine effiziente Separation verwirklicht werden konnte. Bei Bedarf wurde vorab die Lage der Komponenten z.B. in Ersatzteilkatalogen recherchiert.

Die Demontage erfolgte unter der Maßgabe einer möglichst schnellen Separation, bei Bedarf auch zerstörend. Handwerkzeuge wurden in Griffnähe bereitgestellt. Plastische Verbindungen konnten aufgebrochen, Stecker, Leitungen oder Kabelbinder durchschnitten werden.

Primäre Zielkomponenten waren die Komponenten der *30er Liste* (Tabelle 3). Im Laufe der Versuche wurden darüber hinaus 69 verschiedene Komponenten separiert, die sich als Mitnahmeeffekt mit geringem zusätzlichem Aufwand ausbauen ließen und die vergleichbare Merkmale zu den Komponenten der *30er Liste* aufwiesen, wie Drosselklappe, CD-Wechsler, Infotainment und Komfortsteuerung.

3.2.2. Bestimmung der Demontagezeit

Gemessen wurde ausschließlich die Zeit für die unmittelbare Separation der elektronischen Komponenten sowie die Zeit, die Zielkomponenten durch die Entfernung störender Komponenten freizulegen (Bild 4).

Aufgrund der *idealen* Situation bei der Zerlegung – bekannte Modelle, hochqualifizierter Kfz-Mechaniker, junge Fahrzeuge ohne erschwerten Demontageaufwand – wurden sämtliche gemessenen Zerlegezeiten mit einem Faktor von 1,5 multipliziert, um alltagsrealistische Aussagen erzielen zu können.

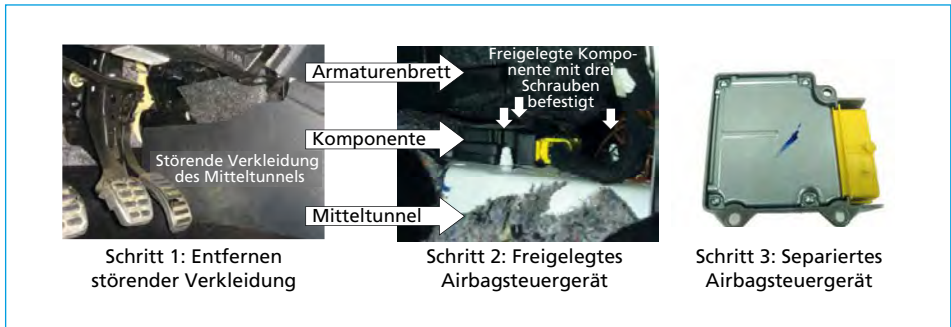


Bild 4: Ablauf der Separation eines Airbagsteuergeräts

3.2.3. Ergebnisse

In der Front und dem Motorraum mit angrenzenden Bereichen finden sich etwa 45 Prozent der separierten Komponenten (Massenanteil: 63 Prozent), darunter große und schwere Komponenten, wie Anlasser, Lichtmaschine, Lüftermotor, Servolenkung. Weitere 45 Prozent der Komponenten der Fahrzeuge (Massenanteil: 29 Prozent) waren im Innenraum zu finden, insbesondere leichte elektronische Komponenten, wie Steuerungen, kleine Elektromotoren, Bedienelemente oder Bildschirmgeräte. Im hinteren Fahrzeugbereich befinden sich beispielsweise die Rückleuchten, Parksensoren, ein kleiner Scheibenwischermotor und Steuerungen. Unten im Bereich des Fahrwerkes befinden sich nur wenige relevante Komponenten, wie Sensoren oder in Einzelfällen elektrische Servomotoren.

Um die Elektronikkomponenten zu separieren, war häufig zuerst das Entfernen von störenden Komponenten erforderlich. Insgesamt wurden im Mittel über alle Segmente für die eigentliche Separation der (freigelegten) Komponenten der 30er Liste 40 Prozent der gesamten Separationszeit, zum Entfernen von störenden Teilen 45 Prozent und für zusätzliche als Mitnahmeeffekt erreichbare Komponenten 14 Prozent aufgewendet.

Bezüglich der Einbausituation konnten nur teilweise Regelmäßigkeiten erkannt werden. Die Demontagezeiten der Heizungsgebläse waren sehr heterogen (Bild 5). Während sich das Heizungsgebläse aus dem Hochdachkombi in nur 0,4 Minuten (inkl. Faktor 1,5) und ohne störende Teile entfernen ließ, dauerte die Separation beim großen Geländewagen zehnmals so lang (4,38 Minuten) einschließlich marginalem Mehraufwand für ein störendes Teil (0,3 Minuten). Bei dem Geländewagen mit Oberklasse-Ausstattung war es wiederum umgekehrt: Die Entfernung der störenden Teile dauerte 4 min., während sich das Heizungsgebläse dann sehr schnell in 0,35 Minuten separieren ließ.

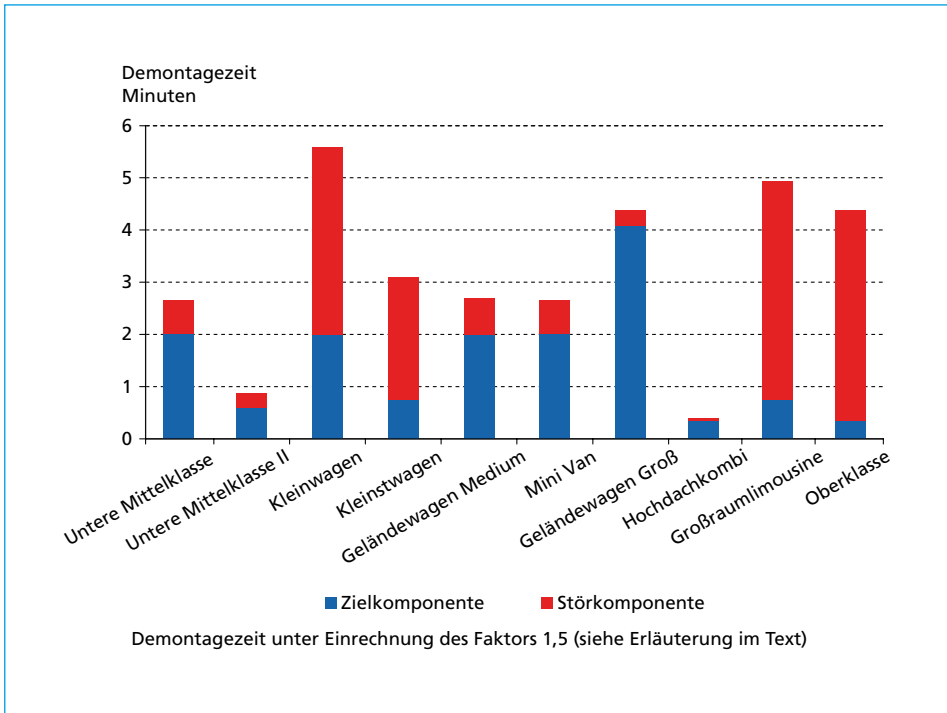


Bild 5: Demontagezeit der Heizungsgebläse und der zuvor zu entfernenden Störteile

Im Motorraum werden durch das Entfernen von Teilen der Front (Radhausschalen, Stoßstange, Schlossträger, Motor/Getriebe, Achsen) etwa 7 relevante Komponenten der Front und des Motorraums gleichzeitig direkt zugänglich, darunter Anlasser und Motorsteuerung (Bild 6).

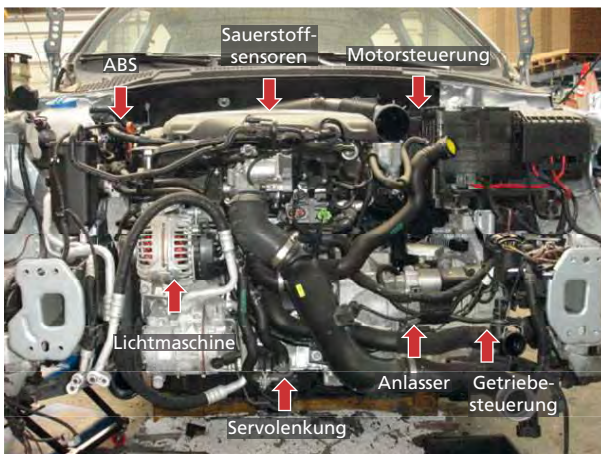


Bild 6:

Freigelegte Komponenten im Motorraum

Quellen:

Foto: Callparts Recycling GmbH

Groke, M.; Kaerger, W.; Sander, K.; Bergamos, M.: Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (O.R.K.A.M.). Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3713 33 337. Ketzin, Januar 2015. Veröffentlichung in Vorbereitung

Die Entfernung der störenden Komponenten variierte von Fahrzeugmodell zu Fahrzeugmodell stark, von rund 3 bis zu über 20 Minuten (siehe *Störkomponenten* in Bild 7). Die anschließende Separation der dann freigelegten Zielkomponenten wie z.B. Anlasser und Motorsteuergeräte nahm im Vergleich dazu erheblich weniger Zeit in Anspruch (Bild 7). Die Motorsteuergeräte konnten überwiegend in weniger als einer Minute ausgebaut werden, die Anlasser ließen sich in durchschnittlich 3 Minuten separieren.

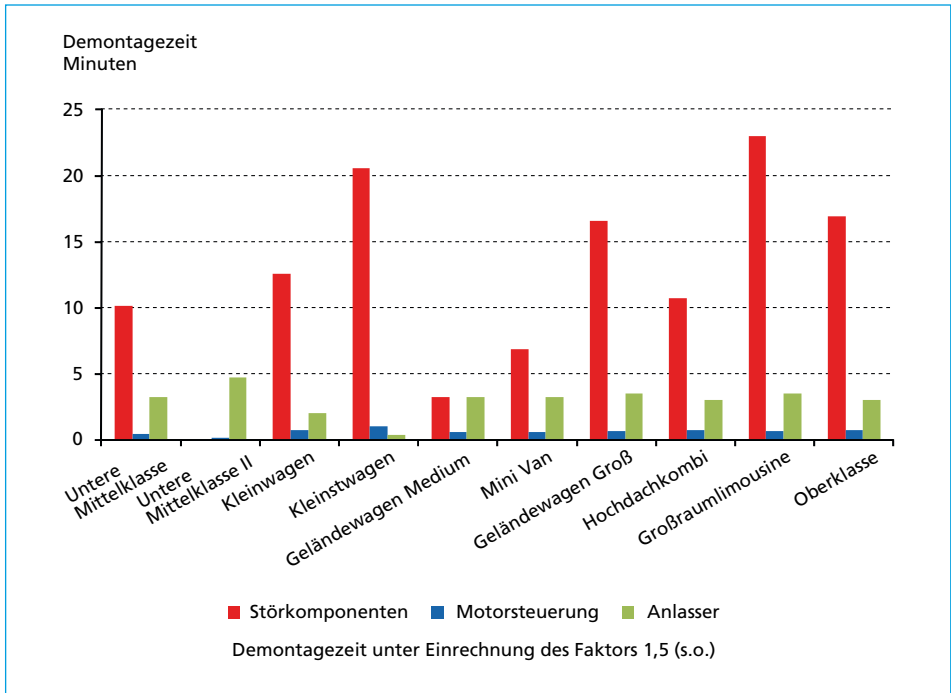


Bild 7: Demontagezeiten im Motorraum – störende Komponenten und beispielhaft Motorsteuerungen und Anlasser

Aus dem Beispiel des Motorraums kann man die Relevanz der Allokation der Demontagezeit für die störenden Teile bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung erkennen. Bei günstiger räumlicher Lage kann in diesem und manch anderen Fällen der Zugang zu gleich mehreren werthaltigen elektronischen Bauteilen ermöglicht werden. Verteilt man die Störteildemontage auf alle sieben Zielkomponenten, relativieren sich die Gesamtdemontagekosten der Motorsteuerung und des Anlassers erheblich.

3.3. Komponenten und Wirtschaftlichkeitsberechnung

3.3.1. Grunddaten

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Separation und Verwertung der Komponenten wurde mit beispielhaften, realitätsnahen Werten gerechnet:

- Demontagekosten: Werkstattkosten von 35 EUR/h multipliziert mit der Demontagezeit sowie Logistikkosten von 30 EUR/t.
- Komponentenerlöse: Für verschiedene separierte Elektronikkomponenten gibt es bereits einen Markt. In der Regel nehmen Behandlungsanlagen für Elektroaltgeräte die Fahrzeugelektronik zur stofflichen Verwertung ab. Mögliche Erlöse siehe Tabelle 5. Für die Beleuchtungskomponenten wurde angenommen, dass sich hierfür noch keine Erlöse erzielen lassen.

Tabelle 5: Mögliche Erlöse für elektronische Komponenten aus Altfahrzeugen zur stofflichen Verwertung

	Beispielhafter Marktpreis	Beispielhaftes Gewicht	Möglicher Erlös	Wertstoffe
	EUR/t	kg	EUR	
Lichtmaschine/Anlasser	600	3,5 bis 6	2,10 bis 3,60	Kupfer-Wicklungen, Aluminium-Gehäuse
Steuergeräte, z.B. Motor-/ Getriebesteuerung	1.000	0,5 bis 1	0,5 bis 1	Leiterplatte, Kunststoff- bzw. Aluminium-Gehäuse
Fahrtsteuerung	700	2,5	1,75	Aluminium, Kupfer
Geräte mit Bildschirmen z.B. Kombiinstrument, Navigationsgerät	250	1,8	0,45	Leiterplatte
Inverter (Hybridfahrzeug)	900	13	11,70	Hochwert. Leiterplatten, Aluminium-Gehäuse
Lambdasonde	6,50 EUR/kg	80 g	0,52	Platin

Quelle: Groke, M.; Kaerger, W.; Sander, K.; Bergamos, M.: Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (O.R.K.A.M.). Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3713 33 337. Ketzin, Januar 2015. Veröffentlichung in Vorbereitung

3.3.2. Zusammensetzung der Komponenten

Die möglichen Preise, die der Elektroaltgeräteverwerter zahlen kann, hängen von den wertgebenden Bauteilen der Komponenten und dem Aufwand zur Gewinnung verwertbarer Fraktionen ab. Um hierzu Detailinformationen zu sammeln, wurden 131 der separierten Komponenten in ihre Materialien zerlegt. Die durchschnittlichen Zusammensetzungen der Elektromotoren und Steuergeräte sind in Bild 8 und Bild 9 dargestellt. Während bei den Motoren Eisen und Kupfer dominieren, bestehen die Steuergeräte zu rund 20 Prozent aus Leiterplatten. Ihr Gehäuse besteht in der Regel aus Kunststoff oder Aluminium.

Die besonders werthaltigen Materialien Kupfer und Leiterplatten sind anteilmäßig stark in den Motoren und Verteilern (Kupfer, Bild 10) bzw. Steuergeräten, Verteilern und Bildschirmgeräten (Leiterplatten, Bild 11) enthalten. Aus der Darstellung der 25 Prozent- und 75 Prozent-Perzentile lassen sich die teilweise beträchtlichen Schwankungen innerhalb einer Komponentengruppe erkennen, die eine Übertragung von einer Komponente auf eine andere kaum möglich macht.

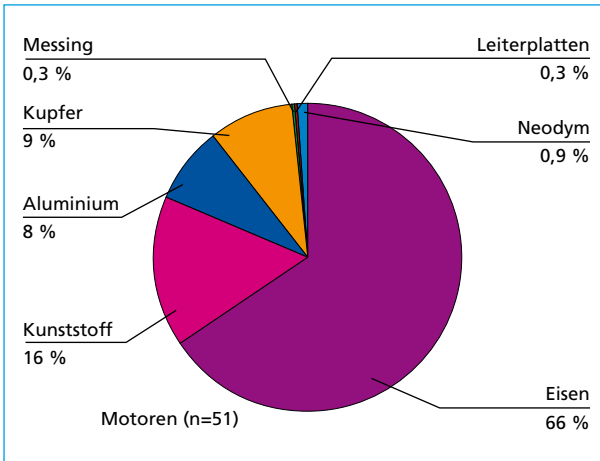


Bild 8:

Durchschnittliche Zusammensetzung von 48 zerlegten Elektromotoren und drei Lautsprechern aus den elf *jungen* Altfahrzeugen

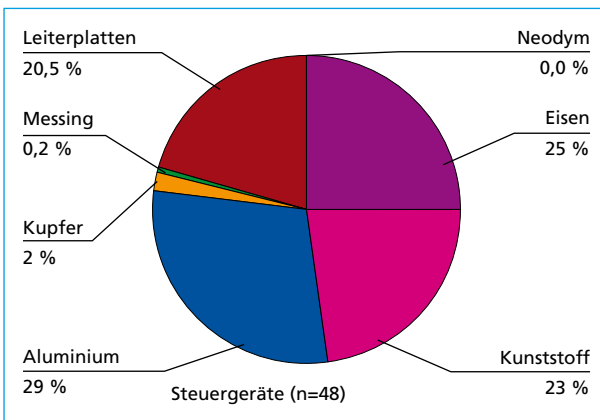


Bild 9:

Durchschnittliche Zusammensetzung von 48 zerlegten Steuergeräten aus den elf *jungen* Altfahrzeugen

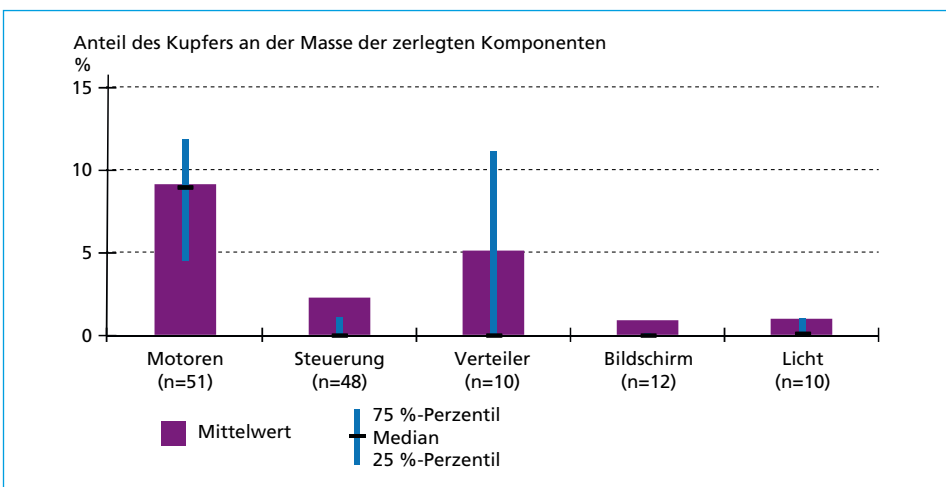


Bild 10: Anteil des Kupfers in den 131 zerlegten Komponenten aus den elf *jungen* Altfahrzeugen nach Komponentengruppen

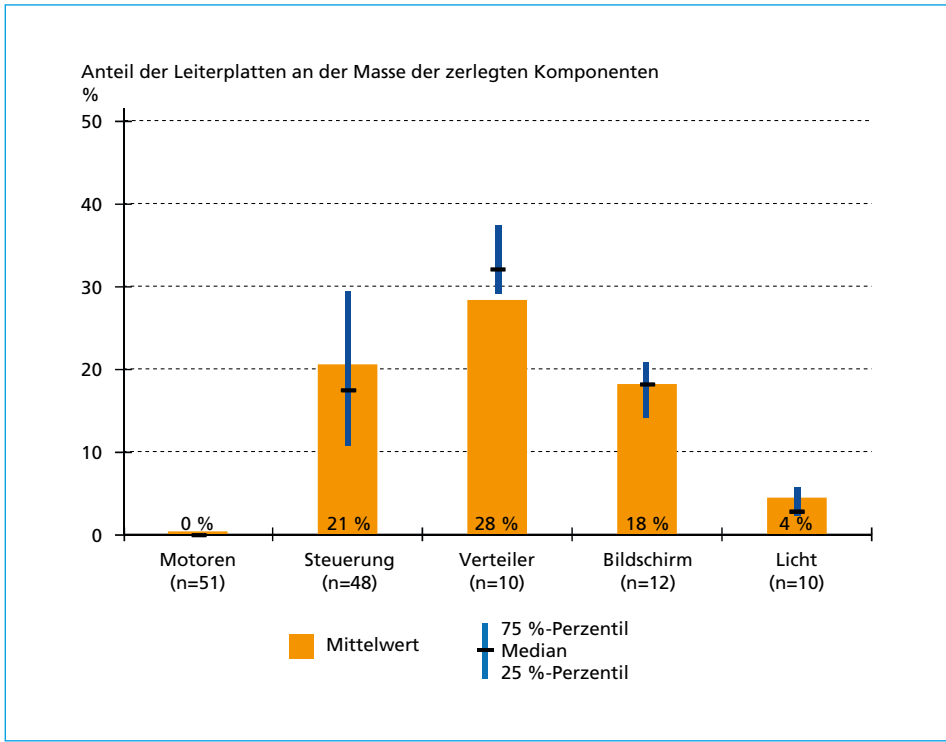


Bild 11: Anteile der Leiterplatten in den 131 zerlegten Komponenten aus den elf *jungen* Altfahrzeugen nach Komponentengruppen

3.3.3. Wirtschaftlich separierbare Komponenten

Für die 131 zerlegten Komponenten (vgl. Abschnitt 3.3.2.) und 10 Sauerstoffsensoren wurden in Bild 12 die möglichen Erlöse bei stofflicher Verwertung über den Kosten (vgl. Abschnitt 3.3.1.) aufgetragen. Geht man von bereits freigelegten Komponenten aus, ist die Separation für 57 der 141 Komponenten wirtschaftlich realisierbar (oberhalb der unteren Diagonale). Sogar wenn man die Kosten für die Entfernung von störenden Teilen anteilig mit einrechnet, zeigt sich die Separation und Verwertung in allen oder den meisten untersuchten Fällen wirtschaftlich für den Inverter, die Start-Stopp-Komponente, die Motorsteuerung, die Getriebesteuerung, das Infotainment und die Lambdasonden. Für die Anlasser und Lichtmaschinen sowie die meisten Scheibenwischermotoren, Heizungsgebläse, Fahrtsteuerungen, Klimasteuerungen, Abstandssensoren, Verteilerboxen und einige andere Komponenten ergibt sich bei derzeitigen Preisen eine wirtschaftliche Demontage, wenn die Störteilentfernung nicht mitgerechnet wird.

Die größten Erlöse lassen sich für den Demontagebetrieb mit der Verwertung des Inverters des Hybridfahrzeugs erzielen. Für mehrere Lichtmaschinen lassen sich aufgrund des hohen Kupfergehalts Erlöse von drei bis vier EUR/Stk. erzielen. Bei dem

Inverter, vier von sechs dargestellten Lichtmaschinen und einem von drei Getriebe-steuergeräten übersteigen die Erlöse die Kosten um mehr als zwei EUR (oberhalb der oberen Diagonale in Bild 12).

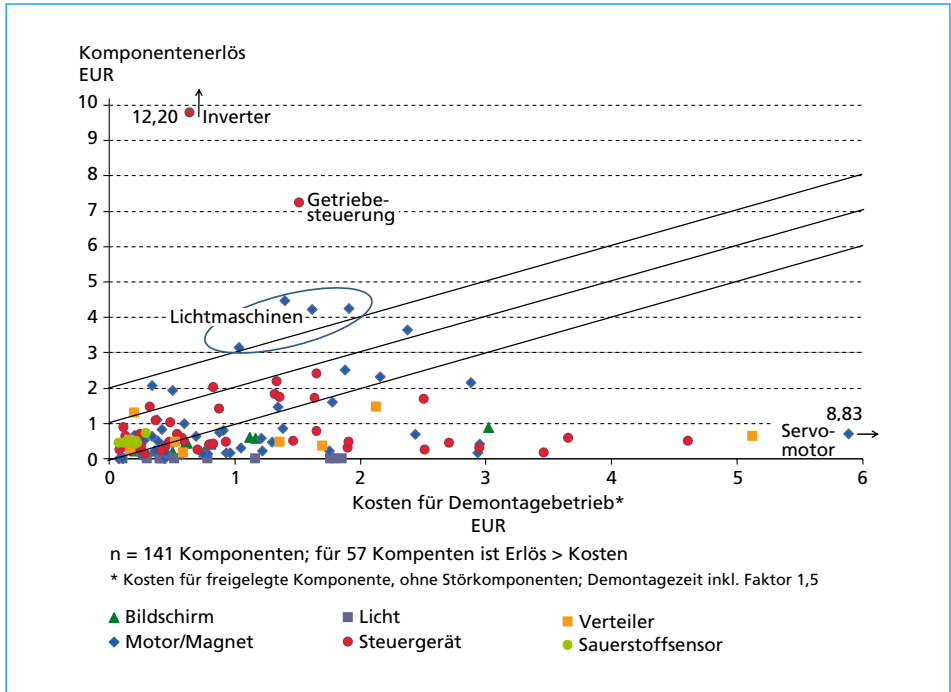


Bild 12: Erlöse für 141 ausgewählte Komponenten der Fahrzeugelektronik aus den elf jungen Altfahrzeugen bei Abgabe zur stofflichen Verwertung in Relation zu den Kosten für den Demontagebetrieb

Quelle: Groke, M.; Kaerger, W.; Sander, K.; Bergamos, M.: Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (O.R.K.A.M.). Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3713 33 337. Ketzin, Januar 2015. Veröffentlichung in Vorbereitung

3.3.4. Grenzen der Wirtschaftlichkeit

Die derzeit möglichen Komponentenerlöse liegen mit Werten von meist unter ein bis zwei EUR (Bild 12) auf einem niedrigen Niveau. Hingegen steigt der Separationsaufwand bei Werkstattkosten von 35 EUR/h mit 0,58 EUR/min schnell an, sodass bereits eine zusätzliche Minute Demontagezeit die Wirtschaftlichkeit gefährden kann. Bei der Demontage von Altfahrzeugen scheint eine solch minutenscharfe Organisation der Vorgänge praktisch kaum möglich. Insbesondere muss bei der Demontage von Altfahrzeugen im üblichen Alter von mehr als 15 Jahren teilweise mit mehrminütigem Mehraufwand gerechnet werden.

Für 84 der 141 Komponenten decken die derzeit möglichen Erlöse die Kosten für den Demontagebetrieb nicht.

Tabelle 6 veranschaulicht die Kosten und Erlösmöglichkeiten an einigen ausgewählten Komponenten.

Tabelle 6: Wirtschaftlichkeitsberechnung für einige ausgewählte Fahrzeugkomponenten

Segment	Gruppe	Komponente	Gewicht	Demontagezeit		Kosten Demontagebetrieb		Komponentenerlös
				<i>Komp</i>	<i>m. Stör</i>	<i>Komp</i>	<i>m. Stör</i>	
				kg	min	min	EUR	
Kleinwagen	Motoren	Servomotor	5,25	0,60	3,40	0,51	2,14	1,94
Untere Mittelkl.			2,20	1,45	4,68	0,91	2,80	0,81
Großraumlim.		Anlasser	3,95	3,50	8,24	2,16	4,93	2,33
Kleinstwagen			3,50	0,40	4,43	0,34	2,69	2,07
Kleinstwagen		Lichtmaschine	5,35	1,50	7,65	1,04	4,62	3,16
Unt. Mittelkl. II			6,20	3,75	5,63	2,37	3,47	3,66
Geländew. Med		Sitzverstellung	0,47	0,75	0,75	0,45	0,45	0,17
Kleinwagen		Scheibenwischermotor	2,25	0,60	4,10	0,42	2,46	0,83
Geländew. G	Bildschirme	Kombiinstrument	1,60	1,30	1,30	0,81	0,81	0,42
Unt. Mittelkl. II			0,90	0,30	2,30	0,20	1,37	0,23
Mini Van	Steuergeräte	Motorsteuerung	0,85	0,60	1,12	0,38	0,68	1,08
Untere Mittelkl.			0,55	0,40	1,21	0,25	0,72	0,70
Geländew. Med		Getriebesteuerung	5,70	2,30	2,30	1,51	1,51	7,24
Kleinstwagen			0,55	0,90	1,21	0,54	0,72	0,70
Kleinstwagen		Fahrtsteuerung	2,00	1,40	2,52	0,88	1,53	1,40
Mini Van		Airbagsteuerung	0,30	1,35	2,05	0,80	1,20	0,38
Geländew. G		Fahrwerksteuerung	0,40	7,88	7,88	4,61	4,61	0,51
Großraumlim.			0,40	0,25	0,25	0,16	0,16	0,51
Geländew. G		Infotainment	1,90	2,73	2,73	1,65	1,65	2,41
Geländew. G	Sensoren	Abstandssensor, Radar	0,38	0,20	1,40	0,13	0,83	0,48
Obere Mittelkl.			0,29	0,43	1,63	0,26	0,96	0,37
Kleinwagen		Sauerstoffsensoren	0,07	0,30	0,37	0,18	0,22	0,46

Legende

Demontagezeit/ Kosten:

Komp Separation der bereits freigelegten Komponente, inkl. Faktor 1,5.

m. Stör Separation *Komp* plus Separation störender Komponenten; inkl. Faktor 1,5. Anteilig, sofern Störkomponente mehrere Zielkomponenten freilegt.

Komponentenerlös: dunkelgrün wenn Erlös > Kosten der Komponentenseparation inkl. Störteile (Kosten *m. Stör*)
blau wenn Erlös > Kosten der Komponentenseparation ohne Störteile (Kosten *Komp*)
schwarz wenn Erlös < Kosten der Komponentenseparation ohne Störteile (Kosten *Komp*)

Quelle: Groke, M.; Kaerger, W.; Sander, K.; Bergamos, M.: Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (O.R.K.A.M.). Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3713 33 337. Ketzin, Januar 2015. Veröffentlichung in Vorbereitung

3.3.5. Neodymhaltige Komponenten

Derzeit gibt es noch kein großtechnisches Recycling von Seltenerdmetallen aus Elektroaltgeräten bzw. Fahrzeugelektronik. Daher lassen sich für Fahrzeugkomponenten mit Neodym keine zusätzlichen Erlöse erzielen. Da derzeit in Forschungs- und Entwicklungsprojekten an Recyclingverfahren gearbeitet wird, sollen in einem Ausblick mögliche Erlöse aufgezeigt werden.

- Hierfür werden die Gesamtkosten als Summe der Kosten für den Demontagebetrieb (siehe 3.3.1.) und zusätzlich der Behandlungskosten (Schätzung: 200 EUR/t) und Logistikkosten (30 EUR/t) des Elektroaltgerätebehandlers betrachtet.
- Auf der Erlösseite stehen mögliche Materialerlöse des Elektroaltgerätebehandlers für die gewonnenen Wertfraktionen Eisen, Kunststoff, Aluminium, Kupfer, Messing, Leiterplatten. Für den Ausblick wurde zusätzlich optimistisch angenommen, dass sich für eine gewonnene Neodym-Fraktion Erlöse in Höhe der börsennotierten Metallpreise (hier: 89,36 EUR/kg, Stand April 2014 [8]) erzielen lassen. Für die enthaltenen Wertstoffe wurde mit einer Recyclingeffizienz von je 80 Prozent gerechnet.

In elf der 131 Komponenten, deren Materialzusammensetzung untersucht wurde (siehe Abschnitt 3.3.2.), konnten neodymhaltige Bauteile identifiziert werden, u.a. Servomotoren, Lautsprecher und Kombiinstrumente. Stellt man die Gesamtkosten den möglichen Materialerlösen (ohne Neodym) gegenüber (Bild 13), zeigt sich, dass neun der elf Komponenten derzeit nicht wirtschaftlich demontiert und behandelt werden können. Wird es jedoch perspektivisch möglich, eine Neodymfraktion zu vermarkten, ließen sich die Erlöse insbesondere für die Servomotoren und Lautsprecher erheblich steigern, sodass deren Gewinnung – je nach Aufarbeitungsaufwand – wirtschaftlich lohnenswert werden könnte.

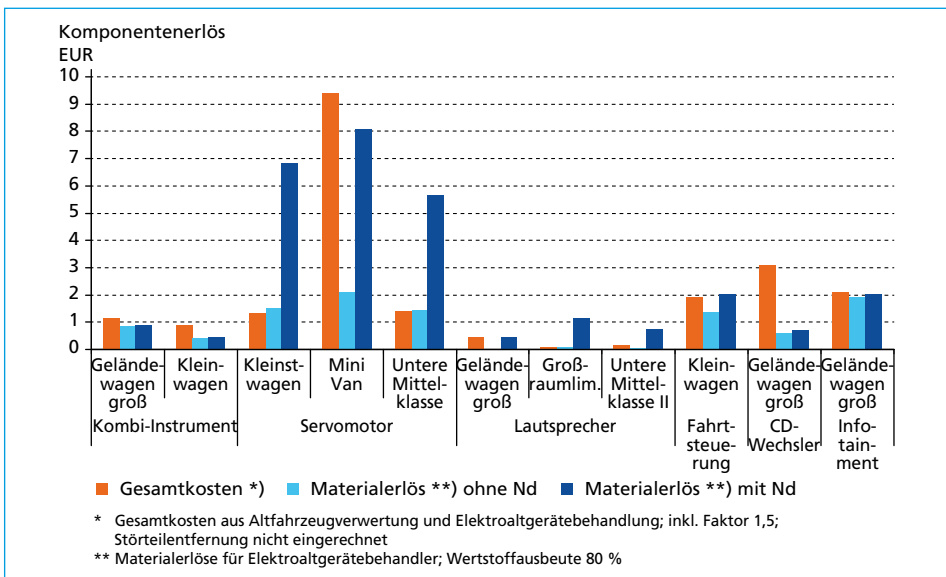


Bild 13: Vergleich der Gesamtkosten mit den möglichen Materialerlösen für elf neodymhaltige Komponenten, ohne und mit Einbeziehung möglicher Neodymerlöse

4. Schlussfolgerungen und weitere Schritte

Im Ergebnis stellt die zunehmende Demontage von Elektro- und Elektronikkomponenten aus Altfahrzeugen zur stofflichen Verwertung einen wichtigen Baustein zur Steigerung der Ressourceneffizienz dar.

Aus den Untersuchungen zur Demontage der Fahrzeugelektrik und -elektronik und der Diskussion der Ergebnisse mit Branchenexperten kristallisierten sich zwei Handlungsfelder heraus, um die Demontage und Verwertung effektiv und möglichst wirtschaftlich gestalten zu können:

- die Verbesserung der Informationslage zur Demontage von Fahrzeugelektronik und
- die effiziente Gestaltung der Behandlungskette für separierte Fahrzeugelektronik.

4.1. Verbesserung der Informationslage zur Demontage von Fahrzeugelektronik

Die Recherchen im Vorfeld der Demontageuntersuchungen zeigten auf, dass die Datenlage zu den Metallgehalten und zur Demontage der Komponenten der Fahrzeugelektronik bisher unvollständig ist. Verbesserte Informationen sind erforderlich, um in der Praxis der Altfahrzeugverwertung die bisher nur grob mögliche Wirtschaftlichkeitsabschätzung auf sicherere Beine zu stellen und wertstoff- bzw. werthaltige Komponenten gezielt erkennen und in die Verwertung lenken zu können.

4.1.1. Informationslage und -bedarf zu Gehalten und Demontage von Edel- und Sondermetallen in Fahrzeugelektronik

Verschiedene Untersuchungen aus Wissenschaft und Industrie haben in letzter Zeit Gehalte an Edel- und Sondermetallen in Fahrzeugelektronik identifiziert. Die Auswertung der verfügbaren Quellen ließ jedoch erkennen, dass diese Informationen insgesamt nicht auf einer systematischen Basis vorliegen. Die Untersuchungen basieren gewöhnlich auf einer kleinen Zahl von Komponenten und/oder Fahrzeugen. Gleichzeitig variieren die Metallgehalte in den Komponenten der Altfahrzeuge mit dem Hersteller, dem Modell, dem Baujahr und der spezifischen Ausstattung, sodass die Datenlage lückenhaft und mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist.

Am Beispiel der Leiterplatten kann die Variationsbreite von Messwerten aufgezeigt werden, die eine einfache Anwendung oder Übertragbarkeit von Literaturdaten auf Praxisfälle unmöglich macht. Die Konzentrationen von Edel- und Sondermetallen in bestückten Leiterplatten aus verschiedenen Literaturquellen variieren teilweise bis zum Faktor 10 (Bild 14).

Aus den Demontageversuchen lässt sich ableiten, dass es zur Planung einer kosten- und ressourceneffizienten Demontage von Fahrzeugelektronik nicht ausreicht, pauschale Schätzwerte aus der Literatur anzuwenden. Der Anteil der Leiterplatten in smarten Verteilerboxen der Stichprobe schwankte immerhin zwischen 6 und 40 Prozent. Bild 5 und Bild 7 zeigen die große Spannweite der Demontagezeiten für Fahrzeuge verschiedener Segmente.

Für eine halbwegs verlässliche Wirtschaftlichkeitsberechnung durch den Demontagebetrieb und eine Wirtschaftlichkeits- und Wertstoffberechnung durch den Elektroaltgerätebehandler sind daher modellscharfe Informationen erforderlich.

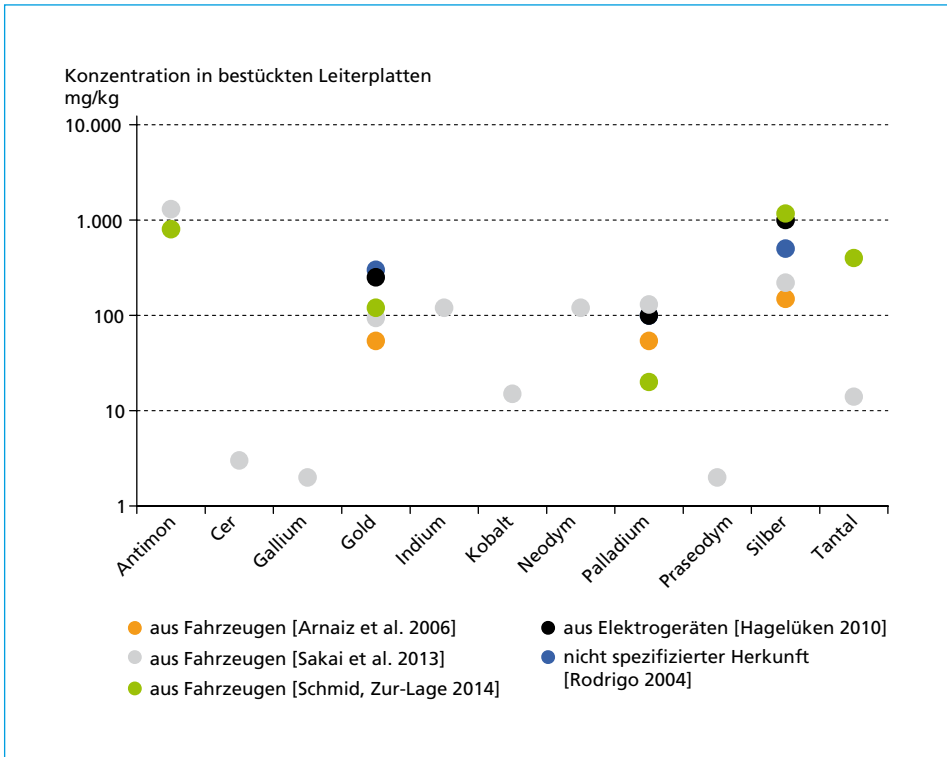


Bild 14: Gehalte an ausgewählten Edel- und Sondermetallen in bestückten Leiterplatten aus Fahrzeugen, aus Elektrogeräten bzw. nicht spezifizierter Herkunft (logarithmische Skalierung)

Quellen:

Arnaiz, S.; Bains, N.; Geraghty, K.; Goosey, M.; Greif, A.; Malaina, M.: The SEES Project, Chemical and Mechanical Recycling Techniques for End-of-Life Automotive Electronic Devices, 2006

Sakai, S.; Yano, J.; Muroi, T.; Watanabe, N.: Dismantling of Conventional and Hybrid Vehicles for End-of-life Vehicle Management. Vortrag auf der Konferenz ISWA 2013, Wien, 2013

Schmid, D.; Zur-Lage, L.: Perspektiven für das Recycling von Altfahrzeugen – moderne Fahrzeuge und angepasste Recyclingverfahren. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.: Recycling und Rohstoffe, Band 7. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 2014

Hagelüken, C.: Edelmetallrecycling – Status und Entwicklungen. In: Gesellschaft der Metallurgen und Bergleute e.V.: Sondermetalle und Edelmetalle. Vorträge beim 44. Metallurgischen Seminar des GDMB, 2010

Rodrigo, J.; Castells, F.: Sustainable Electrical & Electronic System for the Automotive Sector – Integrated Assessment of Automotive EES, Brussels, 2004

Da die edel- und sondermetallhaltigen funktionalen Einheiten wie Leiterplatten oder Magneten in den Komponenten in der Regel durch ein Gehäuse ummantelt sind, können ihre Größe/Masse bzw. ihre Zusammensetzung/Metallgehalte auch nach der Demontage aus dem Altfahrzeug nicht optisch von außen erkannt werden. Es gibt auch keine verfügbare Datenbasis, die beispielsweise den Magnettyp in einer bestimmten Anwendung in einem bestimmten Fahrzeugmodell beschreibt. Auch, ob eine Zündkerze eine platinhaltige Elektrode besitzt, kann vor der Demontage nicht erkannt werden.

Gehört eine Komponente noch nicht zum Standardspektrum des Demontagebetriebs z.B. aus der Ersatzteilgewinnung, ergänzt sich der Informationsbedarf um eine genaue Lageinformation. Den Informationsbedarf hinsichtlich einer gezielten Identifikation, Demontage und sicheren Wertbestimmung stellt Tabelle 7 zusammen.

Tabelle 7: Informationsbedarf zur Demontage von Fahrzeugelektronik

Funktionale Einheit	Typische Anwendung	Informationsbedarf für Demontagebetrieb bzw. Elektroaltgerätebehandler
Allgemein	–	Lage der relevanten Komponenten. Sofern relevant: Informationen zu enthaltenen Schadstoffen (z.B. Flammschutzmittel)
Leiterplatten	Steuergeräte, Verteilerboxen, Bildschirmgeräte, teilweise in Beleuchtung, vereinzelt in Elektromotoren	Klasse (hinsichtlich Wertmetallgehalt) und Gewicht der Leiterplatten in den Komponenten
Motoren und Magnetanwendungen	Elektromotoren, Lautsprecher, teilweise Sensoren und weitere Anwendungen	Identifizierung neodymhaltiger Komponenten und Gewicht des Magneten Kupfergehalt der Motoren
Sensoren	Erfassung physikalischer Zustände und Übertragung in elektrische Informationen Breite Vielfalt an Sensorarten unterschiedlichster Zusammensetzung	Identifizierung edel- und sondermetallhaltiger Sensoren, z.B. - Magnete bzw. Neodym (z.B. Bewegungssensoren) - Platin/ Palladium und Yttrium (Sauerstoffsensoren) - Silber, weitere Edelmetalle (z.B. Temperatursensoren) - Gallium (z.B. ein Teil der Radarsensoren) - Germanium (z.B. ein Teil der Radarsensoren)
Zündkerzen	Zündkerzen, in einigen Fällen edelmetallhaltig	Identifizierung der edelmetallhaltigen Zündkerzen - teilweise Yttrium, Iridium - selten: Platin - selten: Rhodium
Stecker	z.B. für Traktionskontrolle, elektrische Motoren, Diebstahlsicherung, elektronische Servolenkung, Treibstoffeinspritzsysteme	Identifizierung der <i>hochwertigen</i> Stecker - teilweise: Gold - teilweise: Rhodium - teilweise: Kupfer-Beryllium-Legierungen

4.1.2. Mögliche Informationsquellen und Gestaltung des Informationsflusses

Für die Demontagebetriebe kommen als Informationsquellen zur Fahrzeugelektronik beispielsweise Datenbanken aus Softwareprogrammen für Werkstätten in Frage, die Informationen zu Bauteilen und ihrer Lage enthalten. Diese sind jedoch kostenpflichtig und enthalten keine Informationen zu den Wertstoffgehalten.

Die Informationsdatenbank IDIS [14], durch die die Fahrzeughersteller den Demontagebetrieben die benötigten Demontageinformationen zur Verfügung stellen, enthält bisher keine expliziten Informationen zu Fahrzeugelektronik.

Um die Datenbasis entsprechend dem Bedarf (vgl. Tabelle 7) zu verbessern, sollte ein systematischer Datenfluss mit modellscharfen Informationen von den Fahrzeugherstellern zu den Altfahrzeugverwertern hinsichtlich der Demontage von Fahrzeugelektronik aufgebaut werden, um die effiziente Demontage und Verwertung zu ermöglichen.

In der für Hersteller zugänglichen Datenbank IMDS sind verschiedene Informationen zu Metallen in Fahrzeugen enthalten. Durch die neuen Berichterstattungspflichten zu Konfliktmaterialien (z.B. unter dem Dodd-Frank-Act in den USA) sollten die Hersteller Informationen über den Einsatz der Metalle Gold, Zinn, Tantal und Wolfram in ihren Fahrzeugen besitzen. Die Nutzbarkeit dieser beiden Informationsquellen für die Fahrzeugverwertung könnte geprüft werden.

Zur Gestaltung eines Informationsflusses kommen beispielsweise in Frage

- die (farbliche) Kennzeichnung relevanter Bauteile und ihrer Werkstoffe, z.B. neodymhaltige Komponenten, Zündkerzen mit Platinelektrode, goldhaltige Stecker, Leiterplattenklasse;
- eine Weiterentwicklung des existierenden Informationsmediums IDIS
 - * durch Aufnahme von Material- und Demontageinformationen zu Fahrzeugelektronik,
 - * durch Fokussierung auf benötigte und von den Demontagebetrieben nachgefragte Informationen;
- die ergänzende Nutzung zeitgemäßer Kommunikationswege.

4.2. Effiziente Gestaltung der Behandlungskette für separierte Fahrzeugelektronik

Die Wirtschaftlichkeit und die Rückgewinnungsrate an kritischen und umweltrelevanten Metallen hängen von einer geeigneten Kombination der Behandlungsschritte der Altfahrzeug- und Komponentenverwertung ab. Aufgrund der Zusammensetzung der Fahrzeugelektronik kommen als Abnehmer in der Regel Behandlungsanlagen für Elektroaltgeräte in Frage, welche teilweise heute schon Fahrzeugelektronik behandeln, die überwiegend aus Produktionsverwürfen oder Werkstätten stammt, bisher jedoch fast nicht von Altfahrzeugverwertern.

Ein Kernelement zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Verwertung von Fahrzeugelektronik besteht daher in der Etablierung einer engeren Zusammenarbeit zwischen Altfahrzeug- und Elektroaltgeräteverwertern, beispielsweise durch die Bildung von Netzwerken.

In den meist kleineren Demontagebetrieben lassen sich sortenrein separierte Materialien in logistisch relevanten Mengen jedoch nur schwer in vertretbarer Zeit aggregieren. Daher bestimmt die Gestaltung der Abhol- und Transportprozesse in besonderem Maß die Wirtschaftlichkeit und Realisierbarkeit. Eine besondere Herausforderung besteht dabei in der geschickten Bündelung von Abfallströmen, um eine (kosten)effiziente Sammel- und Transportlogistik zu realisieren, mit der möglichst viele elektronische Bauteile in die Elektroaltgeräteverwertung gelenkt werden können.

Folgende Ansätze zur Netzwerkbildung und Bündelung der Teileströme sollten geprüft und weiter verfolgt werden:

- Nutzung des Systems der Werkstattentsorgung auch zur Sammlung, Bündelung und Verwertung von Fahrzeugelektronikkomponenten aus Demontagebetrieben.
- Nutzung etablierter Abholbeziehungen,
 - * z.B. Abgabe der Lambdasonden an den Katalysatorverwerter.
- Sammelabholung mehrerer Abfälle und Wertstoffe durch ein Unternehmen, das die Fraktionen regional zwischenlagert, vorsortiert, zu größeren Mengen bündelt und weiterleitet,
 - * z.B. Abgabe der Fahrzeugelektronik an den Abnehmer der Restkarossen mit dem Zweck der dortigen Konsolidierung zur separaten Verwertung.
- Kooperation mit benachbarten Demontagebetrieben, um gemeinsame Abholmöglichkeiten zu nutzen.
- Anknüpfen an die Abhollogistik von nahegelegenen Fahrzeugproduktionsstandorten und Zulieferern, an denen gleichartige Abfälle, z.B. Ausschuss, anfallen.

4.3. Weitere Impulse zur Steuerung der Stoffströme zur Stärkung der Ressourceneffizienz in der Altfahrzeugverwertung

Am einfachsten und teilweise schon wirtschaftlich ist es, sich hinsichtlich der Demontage und Verwertung der Fahrzeugelektronik auf die derzeit Gewinn bringenden Metalle der Kupfer-Route zu konzentrieren. Zur Steigerung der Ressourcenschonung ist es jedoch wichtig, zunehmend auch weitere Elemente (z.B. Seltene Erden, Gallium, Indium, Tantal) zu adressieren, auch wenn diese (noch) nicht zu den Einnahmen beitragen und teilweise noch nicht recycelt werden können. Zur Entwicklung von Recyclingverfahren für strategische Elemente laufen derzeit zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

Fehlen kurzfristige ökonomische Treiber, könnten politische Impulse Komponenten der Fahrzeugelektronik mit hoher Umwelt- oder rohstoffstrategischer Relevanz, die derzeit (noch) nicht wirtschaftlich demontiert und verwertet werden können, in die Verwertung lenken und damit einen steigenden Anlageninput und somit Investitionssicherheit für innovative Recyclingverfahren schaffen.

Instrumente, die hierfür grundsätzlich in Frage kommen, sind beispielsweise Demontagevorgaben für die noch nicht wirtschaftlich verwertbaren ressourcenrelevanten Fahrzeugelektronikkomponenten, oder Impulse zur stärkeren Verwirklichung der Herstellerverantwortung in organisatorischer, informatorischer oder finanzieller Art.

5. Quellen

- [1] Arnaiz, S.; Bains, N.; Geraghty, K.; Goosey, M.; Greif, A.; Malaina, M.: The SEES Project, Chemical and Mechanical Recycling Techniques for End-of-Life Automotive Electronic Devices, 2006
- [2] AUTOHAUS.DE: Rubrik Daten & Studien, Marktdaten zum Download – Hersteller, Konzerne, Modelle und Segmente im Detail, Archiv: Neuzulassungen Dezember 2013, http://www.autohaus.de/sixcms/media.php/2141/Segmente_12_2013.pdf, Zugriff: Mai 2014

- [3] BMUB/ UBA: Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2012 gemäß Art. 7 Abs. 2 der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG. Bonn, Dessau, 27. Juni 2014. www.bmub.bund.de/N50180/
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes), Mai 2012. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/ Pools/Broschueren/progress_dt_bf.pdf
- [5] Bundesverband der deutschen Industrie e.V.: Anforderungen an eine ganzheitliche und nachhaltige Rohstoffpolitik. BDI-Grundsatzpapier zur Rohstoffpolitik im 21. Jahrhundert. Januar 2015. http://www.bdi.eu/download_content/EnergieUndRohstoffe/Grundsatzpapier_Rohstoffpolitik.pdf
- [6] Cullbrand, K.; Magnusson, O.: The Use of Potentially Critical Materials in Passenger Cars. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, Report No. 2012:13. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/162842.pdf>
- [7] Deutsche Automobil Treuhand GmbH: DAT-Report 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014. <http://www.dat.de/angebote/verlagsprodukte/dat-report.html>
- [8] Deutsche Rohstoffagentur (DERA): Preismonitor. Rohstoffpreisliste, April 2014. http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Rohstoffinformationen/Rohstoffpreise/Preismonitor/preismonitor_node.html
- [9] Du, X.; Restrepo, E.; Wäger, P.; Widmer, R.: Scarce Metals in Conventional Passenger Vehicles and End-of-Life Vehicle Shredder Output. Vortrag auf der 3R Konferenz in Japan, März 2014
- [10] Duwe, C.; Goldmann, D.: Stand der Forschung zur Aufbereitung von Shredder-Sanden. In: Thomé-Kozmiensky, K.J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe. Band 5. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky. Neuruppin 2012. http://www.r-zwei-innovation.de/_media/V01_Berlin2012.pdf
- [11] Europäische Kommission, Eurostat: Environmental Data Centre on Waste: Altfahrzeuge - Daten. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/key-waste-streams/elvs>
- [12] Groke, M.; Kaerger, W.; Sander, K.; Bergamos, M.: Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (O.R.K.A.M.). Abschlussbericht. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3713 33 337. Ketzin, Januar 2015. Veröffentlichung in Vorbereitung
- [13] Hagelücken, C.: Edelmetallrecycling – Status und Entwicklungen. In: Gesellschaft der Metallurgen und Bergleute e.V.: Sondermetalle und Edelmetalle. Vorträge beim 44. Metallurgischen Seminar des GDMB, 2010
- [14] International Dismantling Information System, www.idis2.com
- [15] Knode, M.: Abschlusspräsentation ReECar – Nachhaltigkeit durch den Einsatz von Gebrauchtteilen in der Kfz-Elektronik, 13.11.2008. <http://www.reecar.org/servlet/is/951/06-Knode-Demontage.pdf?command=downloadContent&filename=06-Knode-Demontage.pdf>
- [16] Rodrigo, J.; Castells, F.: Sustainable Electrical & Electronic System for the Automotive Sector – Integrated Assessment of Automotive EES, Brussels, 2004
- [17] Sakai, S.; Yano, J.; Muroi, T.; Watanabe, N.: Dismantling of Conventional and Hybrid Vehicles for End-of-life Vehicle Management. Vortrag auf der Konferenz ISWA 2013, Wien, 2013
- [18] Sander, K.; Schilling, S.; Marscheider-Weidemann, F.; Wilts, H.; von Gries, N.; Hobohm, J.: Abfallwirtschaftliche Produktverantwortung unter Ressourcenschonungsaspekten (RePro). Meilensteinbericht August 2012. In Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3711 95 318. http://www.oekopol.de/archiv/material/603_RePro_Meilensteinbericht_1.pdf
- [19] Schmid, D.; Zur-Lage, L.: Perspektiven für das Recycling von Altfahrzeugen – moderne Fahrzeuge und angepasste Recyclingverfahren. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.: Recycling und Rohstoffe, Band 7. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin, 2014
- [20] Tabel, T.; Leistner, W.; Holl, R.: Abschlussbericht zum Vorhaben Einsatz einer Kompaktsortieranlage zur Metallausschlussung bei Schredderleichtfraktionen, Lübeck, Mai 2011. http://www.cleaner-production.de/fileadmin/assets/20160_Abschlussbericht_LSH_Lübecker_Schrotthandel.pdf

ReSource

Abfall • Rohstoff • Energie

Jahresabonnement (4 Ausgaben) plus Onlinezugang: 62 Euro (incl. MwSt. und Versand)



25. Jahrgang

ISSN 1868-9531 • 4. Quartal 2012 • Preis 20,00 EUR • 4. 13198 1

Printed in GERMANY • 07/12 0123 3422

ReSource

Abfall • Rohstoff • Energie Fachzeitschrift für nachhaltiges Wirtschaften

Norbert Schönberger, Christian Tebert und Uwe Lehl:
Ethische nationale Stellung zum Ressourcenwert
zur Umsetzung des EU-Industrie-Richtlinien
in deutsches Recht

Christian Tebert:
Die EU hat verbindliche BYF-Schlussfolgerungen für die
Herstellung von Zement-, Kalk- und Magnesiumoxid erstellt

HERAUSGEBER
Dipl.-Pol. Bernhard Reiser

Martin Schütz und Bettina Siewert:
Neue Prozessabläufe für metallische Rohstoffe werden
deutsche Unternehmen auch in Zukunft begünstigen

REDAKTION
Professor Dr.-Ing. Dr. h. c.
Karl J. Eberle-Kriegeritzky
Dr.-Ing. Stephanie Thal
Dipl.-Pol. Bernhard Reiser

Rainer Wenz, Alexander Feil und Thomas Preitz:
Durch eine optimierte Aufbereitung von Hochzinnmetall-
Vorkonzentrat aus der mechanischen Behandlung von
Siedlergoldschlämme können wertvolle Ressourcen erschlossen
werden

REDAKTIONSRAT
Professor Dr.-Ing. Michael Beckmann
Professor Dr.-Ing. habil. Matthias Finkbeiner
Professor Dr.-Ing. Daniel Grottelmann
Professor Dr.-Ing. Karl E. Lörcher
Dipl.-Ing. Johannes J. E. Martin
Dipl.-Chem.-Ing. Ursula Pelloni
Dipl.-Ing. Christian Tebert
Professor Dr. Andrea Venzky

Alfred Sigg und Kai Leibel:
Gegenüber der Vergärung und anderen Verfahren
wird ein fortschrittlich Verbrennungsanlagen die
höchsten energetischen Wirkungsgrade

Gunter Ancelet und Margit Löschke:
Themen der Zellulose-Industrie können individuell
zugeordnet in die Entsorgungskonzepte verschiedener
Märkte integriert werden

Norbert Köpplitz, Henning Wilt und Gunter Dehaack:
Die EU-Mitgliedstaaten müssen in ihren Abfallvermeidungs-
programmen Umsetzungsmaßnahmen aufzeigen, die entlang
der gesamten Wertschöpfungskette ansetzen

RHOMBOS

4 2012

Fotos: pixelio.de

Für Wirtschaft und Politik ist ein nachhaltiger Umgang mit Rohstoffen und Energie eine Frage der Zukunftssicherung. Umwelttechnisches Know-how und Informationen über grundlegende Entwicklungen sind für den Erfolg entscheidend. Mit der Fachzeitschrift "ReSource - Abfall, Rohstoff, Energie" sind Sie bestens über nachhaltiges Wirtschaften informiert.

Neben aktuellen Forschungsergebnissen stellt die Fachzeitschrift praxisrelevante Konzepte und Verfahren zur Vermeidung und Verringerung von Umweltbelastungen vor. Verfahren der konventionellen Abfallbehandlung und -entsorgung wie Verbrennung sowie Recycling, Kompostierung, Vergärung und Deponierung werden auf ihre Effektivität und Umsetzbarkeit geprüft. Experten aus dem In- und Ausland diskutieren mögliche Alternativen.

Gerne schicken wir Ihnen ein Ansichtsexemplar:

RHOMBOS-VERLAG, Kurfürstenstr. 17, 10785 Berlin, Tel. 030.261 94 61, Fax: 030.261 63 00
Internet: www.rhombos.de, eMail: verlag@rhombos.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann (Hrsg.):
Recycling und Rohstoffe – Band 8

ISBN 978-3-944310-20-6 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2015
Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Erfassung und Layout: Ginette Teske, Sandra Peters, Carolin Bienert, Janin Burbott,
Max Müller, Cordula Müller
Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk- sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.