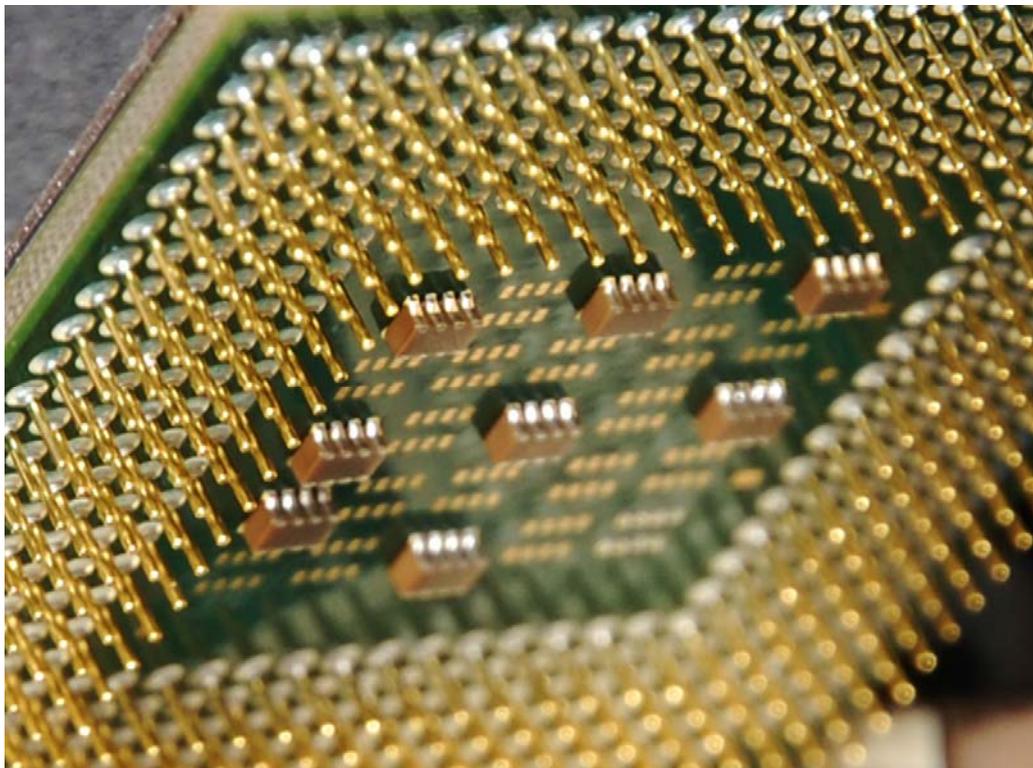


# Verwertung seltener Metalle aus der Automobilelektronik in der Schweiz: Systemübersicht und Probenahmekonzept



Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

02.04.2012

**Auftragnehmer:** Empa, Abteilung Technologie und Gesellschaft.

**Autor/Autorin:** Fabian Blaser, Rolf Widmer, Patrick Wäger

**Begleitung BAFU:** Michael Hügi, Isabelle Baudin.

Titelfotos: Empa.

**Hinweis:** Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Dieser Bericht ist wie folgt zu zitieren: Blaser, F., Widmer, R. und Wäger, P. (2012) Verwertung seltener Metalle aus der Automobilelektronik in der Schweiz: Systemübersicht und Probenahmekonzept. Bundesamt für Umwelt, Bern.

## Zusammenfassung

Ein Musterbeispiel für die «Technologisierung» unseres Alltags ist der moderne Personenwagen. Die gestiegenen Anforderungen bezüglich Energieeffizienz, Sicherheit, Kommunikation und Komfort haben zur Folge, dass in Personenwagen die Elektronik stetig mehr Funktionen übernimmt. Dementsprechend nimmt auch die Anzahl elektronischer oder elektronisch gesteuerter Bauteile in Personenwagen zu. Diese Bauteile enthalten seltene Metalle, die bisher daraus nicht oder kaum zurückgewonnen worden sind. Die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) wurde deshalb vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) beauftragt der Frage nachzugehen, unter welchen Bedingungen es Sinn machen würde, vermehrt seltene Metalle aus Automobilelektronik zurückzugewinnen. Im vorliegenden Bericht, welcher als Grundlage für die weiteren Arbeiten im Projekt dient, werden eine Übersicht über das Entsorgungssystem von Altfahrzeugen in der Schweiz gegeben und je ein Vorschlag für eine Messkampagne zur Bestimmung von seltenen Metallen in Automobilelektronik-Bauteilen und in Fraktionen aus der mechanischen Aufbereitung von Altfahrzeugen in einer Schredderanlage vorgestellt.

## Résumé

Notre quotidien est de plus en plus caractérisé par la technologie, la voiture de tourisme en étant le meilleur exemple. Les exigences accrues en matière d'efficacité énergétique, de sécurité, de communication et de confort se sont traduites par une électronique qui gère toujours plus de fonctions. Partant, le nombre de composants électriques et électroniques de véhicules va lui aussi croissant. Ces composants contiennent des métaux rares, que l'on n'a pas, ou guère, récupérés jusqu'à présent. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a donc chargé le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa) d'étudier les cas où une récupération plus soutenue des métaux rares de l'électronique automobile serait judicieuse. Le présent rapport, qui sert de base aux travaux complémentaires du projet, fournit, d'une part, un aperçu du système d'élimination de véhicules hors d'usage en Suisse et, d'autre part, des propositions pour une campagne de mesure visant à déterminer les métaux rares contenus tant dans les composants électroniques d'automobiles que dans les fractions issues de la valorisation mécanique de véhicules hors d'usage dans une installation de broyage.

## Riassunto

Un esempio di «tecnologizzazione» del nostro quotidiano è costituito dalla moderna automobile. I maggiori requisiti in termini di efficienza energetica, sicurezza, comunicazione e confort hanno come conseguenza che nelle automobili l'elettronica svolge sempre più funzioni. Nelle automobili aumenta quindi anche il numero di componenti elettroniche o assistite elettronicamente. Queste componenti contengono metalli rari che finora non sono stati recuperati o lo sono stati solo in misura esigua. Il Laboratorio federale di prova dei materiali e di ricerca (Empa) è stato quindi incaricato dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) di esaminare le condizioni alle quali risulta opportuno un maggiore recupero di metalli rari dall'elettronica delle automobili. Il presente rapporto, che serve da base per gli ulteriori lavori nel quadro del progetto, fornisce una panoramica del sistema di smaltimento di veicoli usati in Svizzera e presenta una proposta per una campagna di misurazione volta a determinare i metalli rari nelle componenti elettroniche delle automobili e nelle frazioni generate dalla separazione meccanica di veicoli usati in un frantumatore.

## Summary

The modern car is a prime example of how our day-to-day life is increasingly affected by technology. The consequence of increased demands on energy efficiency, safety, communication and comfort is that more and more functions are electronically driven. The number of electronic or electronically driven components in cars is therefore increasing. These components contain rare metals that up till now have either not been recovered, or if so, then only at a low level. The Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Empa) has therefore been commissioned by the Federal Office of the Environment (FOEN) to investigate the circumstances under which it would make sense to increase the recovery of rare metals from automobile electronic components. The present report, which serves as the basis for further reports in the project, gives an overview of the disposal system for used vehicles in Switzerland and presents proposals for a measurement campaign to determine the quantity of rare metals in automobile electronics components and in parts obtained from the mechanical processing of used vehicles in a shredder plant.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>i</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>i</b>
<b>Riassunto .....</b>	<b>ii</b>
<b>Summary .....</b>	<b>ii</b>
<b>Abkürzungen.....</b>	<b>iv</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Entsorgung von Altfahrzeugen in der Schweiz .....</b>	<b>4</b>
2.1 Zentrale Akteure .....	4
2.1.1 Autoverwerter.....	4
2.1.2 Schredderwerkbetreiber .....	6
2.1.3 SARS.....	7
2.2 Mengenströme Schweizer Fahrzeugmarkt.....	8
<b>3 Elektronische Bauteile.....</b>	<b>11</b>
3.1 Auswahl der elektronischen Bauteile für die Messkampagne.....	11
3.2 Potential an elektronischen Bauteilen in Altfahrzeugen für die Verwertung seltener Metalle.....	12
<b>4 Vorschlag für die Messkampagne der Bauteile.....</b>	<b>17</b>
4.1 Grundsätze für die Messkampagne.....	17
4.2 Probenahme.....	18
4.3 Aufbereitung .....	26
4.3.1 Zerlegebetrieb Dock St. Gallen .....	26
4.3.2 UMTEC.....	27
4.4 Analytik.....	28
<b>5 Vorschlag für die Messkampagne der Schredderfraktionen .....</b>	<b>29</b>
5.1 Probenahme.....	29
5.2 Aufbereitung .....	31
<b>6 Glossar .....</b>	<b>33</b>
<b>7 Literatur.....</b>	<b>36</b>
<b>8 Anhang .....</b>	<b>38</b>
8.1 Standardprobenahme für Schredderfraktionen .....	38
8.2 Komplette Liste zur Auswahl der elektronischen Bauteile.....	40
8.3 Dokumentation Zerlegeversuche.....	44

## Abkürzungen

<b>ABS</b>	Antiblockiersystem
<b>ak</b>	andere kontrollpflichtige Abfälle
<b>AMAG</b>	Automobil- und Motoren AG
<b>ASTRA</b>	Bundesamt für Strassen
<b>AT</b>	Aktoren
<b>auto-schweiz</b>	Vereinigung Schweizer Automobil-Importeure
<b>AWEL</b>	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
<b>BAFU</b>	Bundesamt für Umwelt
<b>BFS</b>	Bundesamt für Statistik
<b>BL</b>	Beleuchtung
<b>EM</b>	Elektromotoren
<b>Empa</b>	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
<b>EoL</b>	End of Life
<b>ESP</b>	Elektronisches Stabilitätsprogramm
<b>EZV</b>	Eidgenössische Zollverwaltung
<b>HSR</b>	Hochschule für Technik Rapperswil
<b>ICP MS</b>	Inductively coupled plasma mass spectrometry
<b>ICP OES</b>	Inductively coupled plasma optical emission spectroscopy
<b>IKT</b>	Informations- und Kommunikationstechnologie
<b>KO</b>	elektronische Kontakte
<b>KS</b>	Kunststoffe
<b>KT</b>	Kleinteile
<b>KVA</b>	Kehrichtverbrennungsanlage
<b>LED</b>	Light emitting diode
<b>PW</b>	Personenwagen (auch: PKW)
<b>SARS</b>	Stiftung Auto-Recycling Schweiz
<b>SE</b>	Sensoren
<b>SEES</b>	Sustainable Electrical & Electronic System for the Automotive Sector
<b>SG</b>	Steuergerät
<b>SMD</b>	Surface-Mount Device
<b>UE</b>	Unterhaltungselektronik
<b>UI</b>	User interface
<b>UMTEC</b>	Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik
<b>VASSO</b>	Vereinigung der offiziellen Autosammelstellen-Halter der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein
<b>XRF</b>	X-ray fluorescence
<b>ZAR</b>	Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung

## 1 Einleitung

Hochspezialisierte technologische Anwendungen nehmen heute eine zentrale Rolle bei der Befriedigung der steigenden Bedürfnisse unserer Gesellschaft nach Energie, Mobilität, Kommunikation, Sicherheit, etc. ein. Diese Technologien beruhen häufig auf seltenen Metallen wie beispielsweise Gallium, Indium, Neodym oder Tantal, weshalb davon auszugehen ist, dass die Nachfrage nach diesen Metallen in Zukunft weiter zunehmen wird (Angerer & Erdmann 2009) und Versorgungsengpässe resultieren können (Wäger et al. 2011). Wichtige Faktoren, welche dazu führen könnten, sind fehlende Substituierbarkeit, die Konzentration der Produktion auf wenige Länder sowie niedrige Recyclingraten (European Commission 2010).

Ein Musterbeispiel für die "Technologisierung" unseres Alltags ist der moderne Personenwagen. Die gestiegenen Anforderungen bezüglich Kommunikation, Sicherheit oder auch Energieversorgung haben zur Folge, dass in Personenwagen die Elektronik stetig mehr Funktionen übernimmt. Dementsprechend nimmt auch die Anzahl elektronischer oder elektronisch gesteuerter Bauteile in einem Fahrzeug zu. Für das Jahr 2010 wird geschätzt, dass die Elektronik ca. 30% des gesamten Materialwertes eines Fahrzeuges ausmacht (Hella 2011). Ob diese steigende Tendenz auch für die Mengen der in der Elektronik verwendeten seltenen Metalle gilt, ist nicht bekannt, da es gleichzeitig auch einen gegenläufigen Trend hin zur Miniaturisierung der elektronischen Komponenten und zur Minimierung des Einsatzes an seltenen Metallen gibt. Klar ist, dass die Vielfalt an Metallen, die in der Fahrzeugindustrie zum Einsatz kommen, gross ist.

Die Rückgewinnung von seltenen Metallen aus elektronischen Anwendungen ist eine logistische und technologische Herausforderung, insbesondere auch aufgrund der im Vergleich zu klassischen Industriemetallen wie Stahl oder Aluminium deutlich geringeren Konzentrationen. Eine Grundvoraussetzung für die Rückgewinnung der seltenen Metalle aus der Automobilelektronik sind deshalb Kenntnisse zu Konzentrationen sowie Verteilungen der seltenen Metalle in den entsprechenden Bauteilen, wie auch in einem Personenwagen insgesamt. Eine der wenigen grösseren Untersuchungen, welche u.a. auch gewisse seltene Metalle in der Automobilelektronik und -elektronik betrachtete, wurde im Rahmen des von der EU co-finanzierte Projekt SEES (2006)<sup>1</sup> gemacht. Umfassende und tieferegehende Kenntnisse, in welchen Konzentrationen sich welche seltene Metalle in Bauteilen aus Altfahrzeugen finden, fehlen bis heute jedoch weitgehend.

Um die Anstrengungen in Richtung einer Rückgewinnung von seltenen Metallen aus der Automobilelektronik zu intensivieren, hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2010 das Projekt

---

<sup>1</sup> Sustainable Electrical & Electronic System for the Automotive Sector; Siehe auch: <http://www.sees-project.net/>

"Verwertungspotential seltener Metalle in der Automobilelektronik" lanciert. Die Motivation für dieses Projekt ist die Beantwortung der Frage, inwiefern es ökonomisch und ökologisch Sinn macht, seltene Metalle aus elektronischen Bauteilen in Altautomobilen in der Schweiz zurückzugewinnen.

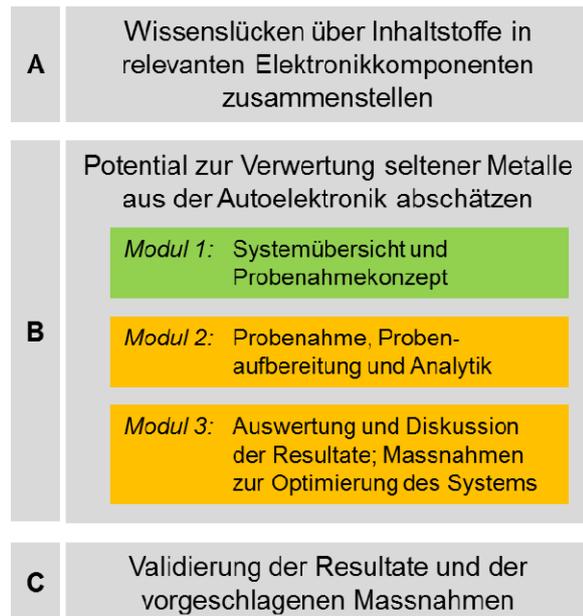
Am Projekt beteiligt sind das BAFU, das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL), die Vereinigung der offiziellen Autosammelstellen-Halter der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein (VASSO), die Stiftung Auto-Recycling Schweiz (SARS), die Automobil- und Motoren AG (AMAG), die Vereinigung Schweizer Automobil-Importeure (auto-schweiz), das Sustainable Engineering Network (SEN) sowie die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über den Aufbau des Gesamtprojekts. In **Komponente A** soll abgeschätzt werden, wie gross das Potential zur stofflichen Verwertung von seltenen Metallen aus der Automobilelektronik in der Schweiz ist. Der Kern dieser Komponente ist eine Untersuchung über die Konzentrationen und die Verteilungen von seltenen Metallen einerseits in den Bauteilen aus Altfahrzeugen und andererseits in den Output-Fraktionen aus einem Autoschredderwerk. Komponente A wurde in **drei Module** unterteilt:

1. Systemübersicht EoL -Automobilelektronik und Erarbeitung des Probenahmekonzepts
2. Probenahme sowie Aufbereitung und Analyse der Proben
3. Auswertung und Diskussion der Resultate sowie Massnahmenvorschläge zur Optimierung der Verwertung seltener Metalle aus der Automobilelektronik.

Der vorliegende Kurzbericht deckt ausschliesslich Modul 1 dieser Komponente ab und dient als Grundlage für die Module 2 und 3.

Anschliessend soll die ökonomische und ökologische Bedeutung der vorgeschlagenen Massnahmen in **Komponente B** detaillierter untersucht werden. In **Komponente C** sollen die Resultate der Untersuchung seltener Metalle sowie die vorgeschlagenen Massnahmen validiert werden.



**Abbildung 1. Komponenten des Projektes "Verwertungspotential seltener Metalle in der Automobilelektronik" (grün: Inhalt des vorliegenden Berichts).**

Das Ziel für die Komponente A ist es, **erste Anhaltspunkte über die Metallvielfalt und -konzentrationen** in elektronischen Bauteilen aus Altfahrzeugen und in Outputfraktionen aus einem Autoschredderwerk in der Schweiz zu gewinnen. In diesem Sinne handelt es sich bei der vorliegenden Studie um eine punktuelle Momentaufnahme und nicht um eine umfassende und vollständige Bestandesaufnahme.

Die Momentaufnahme soll Rückschlüsse auf die grössten Potentiale an seltenen Metallen erlauben und damit Grundlage für potentielle Strategien zur Rückgewinnung von seltenen Metallen aus der Automobilelektronik sein.

Die Untersuchung konzentriert sich ausschliesslich auf elektrische und elektronische Bauteile in Altfahrzeugen (Personenwagen) und auf die Outputfraktionen aus Autoschredderwerken innerhalb der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein. Elektrofahrzeuge werden nicht berücksichtigt. Der Begriff *seltene Metalle* bezeichnet in dieser Studie diejenigen Metalle, deren Konzentration in der Erdkruste durchschnittlich weniger als 0.01 Gewichts-% beträgt (Skinner 1979).<sup>2</sup> Für nähere Informationen und weiterführende Studien zu seltenen Metallen und ihren Kritikalitäten siehe auch Wäger, Widmer, und Stamp (2011).

Eine erste Übersicht über die Entsorgung von Altfahrzeugen in der Schweiz, sowie ein Studienkonzept für Rohstoffrückgewinnungspotentiale aus der Fahrzeugelektronik wurde vom Fraunhofer Institut erstellt (Stephan et al. 2010). Diese Arbeit diente als Grundlage für den vorliegenden Kurzbericht.

<sup>2</sup> Zirkonium (Zr) und Strontium (Sr), die hier ebenfalls untersucht werden, sind gemäss Skinner (1979) (geochemisch) nicht selten. Zr wurde aufgrund von vermuteten Gehalten in einzelnen Bauteilen mitberücksichtigt, Sr aufgrund seiner relativ bedeutenden Konzentration im Elektroschrott in vorhergehenden Untersuchungen.

## 2 Entsorgung von Altfahrzeugen in der Schweiz

Einen generellen Überblick über die heutige Altfahrzeugverwertung und -entsorgung in der Schweiz bietet Stephan et al. (2010). Die wesentlichen in der Schweiz stattfindenden Schritte bei der Altfahrzeug-Aufbereitung sind gemäss Stephan et al. (2010):

1. Vorbehandlung (Trockenlegung der Fahrzeuge, Ausbau von schad- und wertstoffhaltigen Bauteilen und von Ersatzteilen),
2. Behandlung der Restkarosse (Pressen und Schreddern der Fahrzeuge) und
3. Aufbereitung der Schredderfraktionen und Schreddern der Rückstände.

An diesen Schritten sind eine ganze Reihe von Akteuren beteiligt. Tragende Rollen dabei haben die Autoverwerter, die Schredderwerkbetreiber sowie die Stiftung Auto-Recycling Schweiz (SARS).

### 2.1 Zentrale Akteure

#### 2.1.1 Autoverwerter<sup>3</sup>

Die Autoverwerter führen die Vorbehandlung (siehe oben) der Altfahrzeuge durch (nebst anderen Akteuren mit entsprechender VEVA Bewilligung). In der Schweiz existieren über 70 Autoverwerter, 25 unter ihnen haben sich zur Vereinigung der offiziellen Autosammelstellen-Halter der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein (VASSO) zusammengeschlossen haben. Gemäss übereinstimmenden Aussagen von Kaufmann (2012) und Christen (2012) verarbeiten die VASSO-Betriebe etwa einen Drittel der bei den Autoverwertern anfallenden Altfahrzeuge ab.

Hauptmerkmal der VASSO-Autoverwerter ist der Handel mit Ersatzteilen, welche aus Altfahrzeugen ausgebaut werden. Sie konkurrieren damit die Hersteller der Bauteile, fördern aber gleichzeitig eine Wiederverwendung von Autoersatzteilen, die ansonsten entsorgt würden. Die Kosten für ein gebrauchtes Ersatzteil liegen generell etwa zwischen einem Drittel und der Hälfte des Preises eines neues Ersatzteils. Einige Autoverwerter konzentrieren sich primär auf den Ersatzteilhandel, während sich andere vorwiegend im Schrotthandel engagieren und nur nebenbei Ersatzteile ausbauen und vertreiben.

Um den Kunden, hauptsächlich Garagenbetrieben und Privatpersonen, eine gute Dienstleistung bieten zu können, führt ein Autoverwerter ein Ersatzteillager, welches die vom Markt geforderten

---

<sup>3</sup> Primäre Informationsquelle für dieses Kapitel war Andreas Kaufmann, Geschäftsführer Truninger AG und VASSO-Präsident (Kaufmann 2012).

Teile möglichst gut abdeckt. Die Hauptquelle für diese Ersatzteile sind Unfallfahrzeuge, welche auf speziellen, teilweise nur Autoverwertern zugänglichen Plattformen ersteigert werden können (Durchschnittspreise > 2'000 CHF)<sup>4</sup>. Unfallfahrzeuge bis zu einem Alter von ca. 10 Jahren sind für die Autoverwerter besonders wertvoll, da in dieser Altersgruppe die grösste Nachfrage nach Ersatzteilen besteht. Die Fahrzeuge werden entweder komplett ausgeschlachtet oder aber unverändert ins Lager aufgenommen und als Ersatzteilquelle benutzt (je nach Lagerkapazität und -organisation des jeweiligen Autoverwerter). Gemäss Kaufmann (2012) ist der Anteil der Ersatzteile, die aus älteren Unfallfahrzeugen (> 10 Jahre) ausgebaut werden, relativ klein.

Die ausgebauten Ersatzteile werden visuell geprüft, soweit möglich auf ihre Funktion kontrolliert und, wenn eine digitale Datenbank vorhanden, in dieser Datenbank erfasst. Welche Ersatzteile an Lager genommen werden, ist einerseits begrenzt durch das Angebot (Teile aus dem Frontbereich der Autos werden öfter beschädigt und werden daher häufiger nachgefragt als Teile aus dem Heckbereich), ist andererseits aber auch ein Entscheid, der aufgrund der Erfahrung des jeweiligen Autoverwerter gefällt wird (Nachfrage, Aufwand, Preiserwartungen, etc.).

Ausgebaute elektronische Bauteile, für welche keine Nachfrage (mehr) besteht, werden aus dem Lager ausgeschieden und zusammen mit den Altfahrzeugen in die Schredderwerke transportiert. Gemäss Kaufmann (2012) sind dies allerdings nur relativ wenige Bauteile pro Jahr.

Während ein Fahrzeug bei der Annahme durch den Autoverwerter durchschnittlich ca. 1 Tonne wiegt, wiegt ein vorbehandeltes Fahrzeug, das vom Autoverwerter in ein Schredderwerk befördert wird, durchschnittlich 850 Kilogramm.

Bevor ein ausgeschlachtet Fahrzeug zu einem Schredderwerk transportiert wird, legen die Autoverwerter die Altfahrzeuge trocken (Entnahme der Betriebsflüssigkeiten) und demontieren schad- und wertstoffhaltige Bauteile (Katalysator, Batterie, Reifen). Für den Transport wird ein Altfahrzeug zudem oft (vor-)gepresst.

Ein Autoverwerter braucht vom zuständigen kantonalen Amt eine VeVA-Empfängerbewilligung und muss diesem einmal pro Jahr die angenommenen, gelagerten und weitergeleiteten Altfahrzeuge melden, da Altfahrzeuge als andere kontrollpflichtige Abfälle (ak) klassiert sind<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Es werden nur etwa 5-10% der Unfallfahrzeuge exportiert (Kaufmann 2012).

<sup>5</sup> Mehr Informationen dazu auf VeVA-Online (<https://www.veva-online.ch/veva/start.cmd>) und beim Bundesamt für Umwelt BAFU (<http://www.bafu.admin.ch/abfall/01508/10211/index.html?lang=de>).

## 2.1.2 Schredderwerkbetreiber

In der Schweiz existieren 7 Schredderwerke, die Altfahrzeuge verarbeiten. In diesen Betrieben werden im Normalfall nicht nur Altfahrzeuge, sondern auch andere Metallabfälle (z.B. Haushaltgrossgeräte, Metallschrotte, Blechabfälle) zerkleinert und in die drei Schredderhauptfraktionen Eisenmetalle, Nichteisenmetalle und nichtmetallische Reststoffe<sup>6</sup> (RESH – Reststoffe aus Schredderanlagen) sortiert (siehe Abbildung 2). Die Metallfraktionen werden an Schmelzwerke im Ausland geliefert und sind normalerweise gewinnbringend. Die Entsorgung der RESH hingegen ist mit Kosten verbunden, da sie als Sondermüll klassiert sind und daher in einer KVA verwertet werden müssen (siehe auch Kapitel 2.1.3).

Die Schredderwerke erhalten die Altfahrzeuge von verschiedenen Akteuren (z.B. Garagen, Autoverwerter, Versicherungen, private Fahrzeughalter). Bevor die Fahrzeuge geschreddert werden, muss der Betrieb die Trockenlegung der Fahrzeuge und die Entnahme von Batterie, Katalysator und Reifen sicherstellen.

Wie die Autoverwerter benötigen die Schredderwerkbetreiber eine kantonale VeVA-Betriebsbewilligung und müssen u.a. jährlich die angenommenen und verarbeiteten Altfahrzeuge dem kantonalen Amt melden. Zudem leiten sie die annullierten Fahrzeugausweise der Stiftung Auto-Recycling Schweiz (SARS) weiter, im Gegenzug erhalten sie von dieser einen finanziellen Beitrag zur Entsorgung des RESH (mehr dazu im Kapitel 2.1.3).

---

<sup>6</sup> auch: Schredderleichtfraktion (Deutschland)

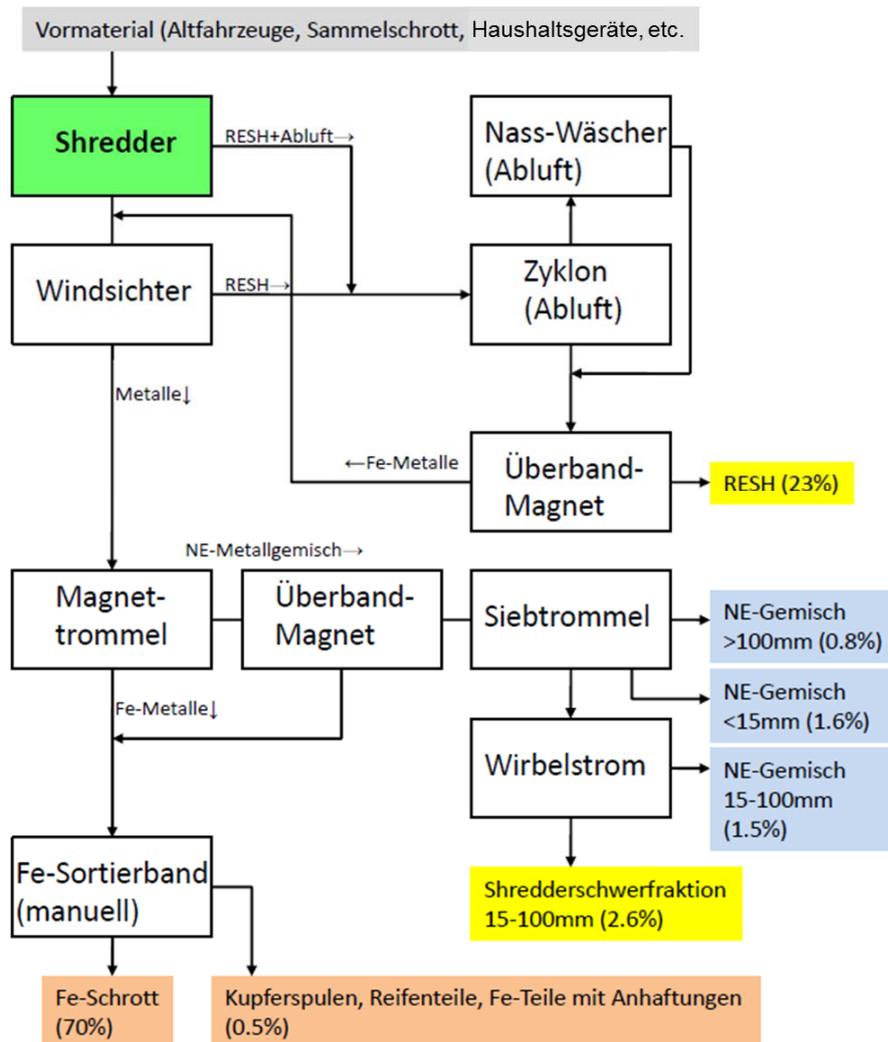


Abbildung 2. Allgemeines Schema eines Schredderprozesses (Christen 2012).

### 2.1.3 SARS

Um die umweltgerechte RESH-Entsorgung sicherzustellen, wurde von den schweizerischen Automobilimporteuren 1992 die Stiftung Auto Recycling Schweiz<sup>7</sup> (SARS) gegründet. Sie finanziert sich über eine Abgabe, welche dem Käufer beim Erwerb eines Neuwagens erhoben wird. Die Höhe der Abgabe wurde seit Beginn der Erhebung stark reduziert (seit 2005 beträgt sie nur noch 1 CHF).

Im Gegensatz zu den Metallfraktionen, mit welchen ein Schredderwerkbetreiber Einnahmen generieren kann, muss der RESH als Sondermüll entsorgt werden. Pro geschreddertes Altfahrzeug respektive pro abgegebenem Fahrzeugausweis bezahlt SARS den Schredderwerkbetreibern einen

<sup>7</sup> <http://www.stiftung-autorecycling.ch/?page=home>

Beitrag an die RESH-Entsorgung (bis Ende 2010: 28 CHF; 2011: 18 CHF). Wie bereits erwähnt, erhält SARS von den Schredderwerkbetreibern als Kontrolle die annullierten Fahrzeugausweise der geschredderten Fahrzeuge. SARS führt daher auch eine der zuverlässigsten Statistiken über die Anzahl der in der Schweiz offiziell entsorgten Fahrzeuge.

Aktuell gelangt der RESH in verschiedene Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA). Die bei der Verbrennung entstehende Schlacke wird anschliessend in Deponien entsorgt. Unter Beteiligung von SARS läuft zur Zeit ein Projekt beim Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung (ZAR) in Hinwil, welches die erhöhte Rückgewinnung von Metallen aus der KVA-Schlacke zum Ziel hat<sup>8</sup>.

## 2.2 Mengenströme Schweizer Fahrzeugmarkt

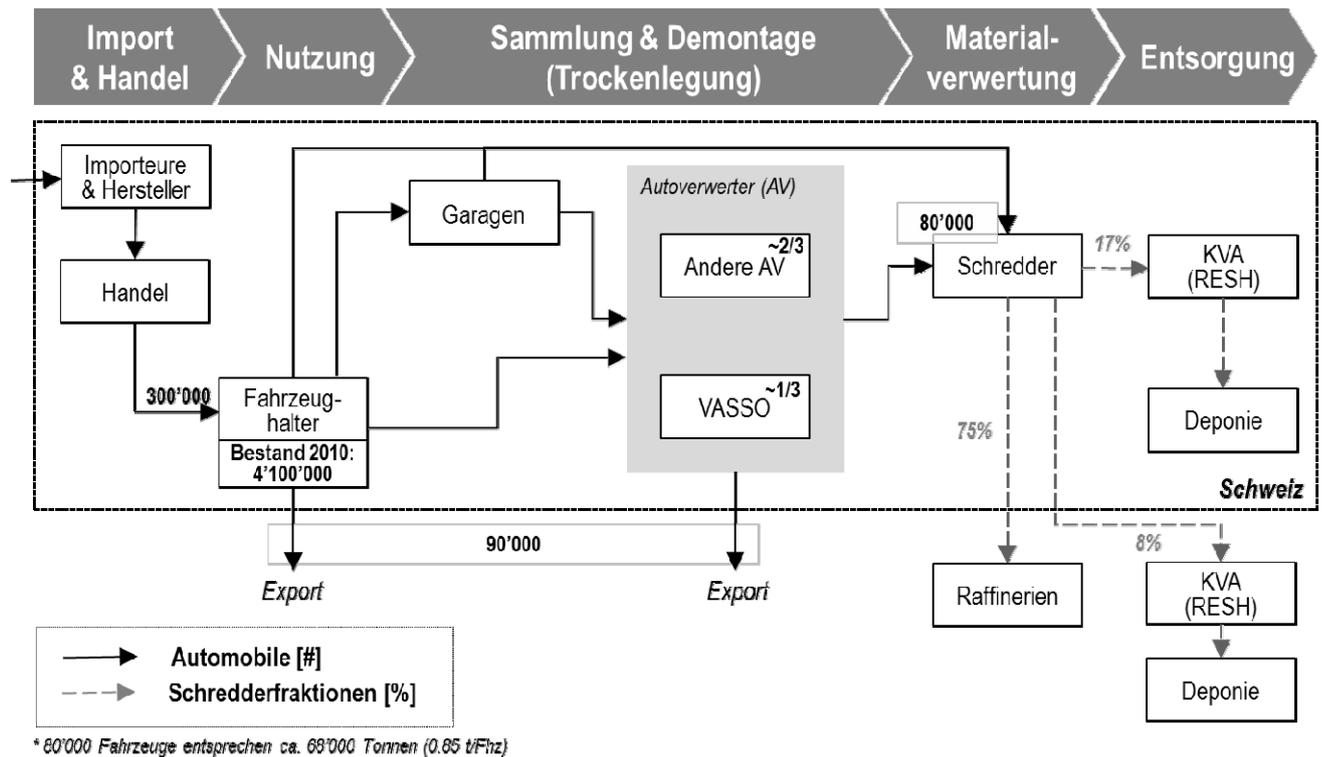
Im Lebenszyklus eines Fahrzeuges wird dieses mehrere Male von unterschiedlichen Stellen erfasst, was eine Abschätzung der Mengenströme und Bestände erlaubt. In die Erfassung der Mengenströme und Bestände von Automobilen in der Schweiz sind die folgenden Ämter und Organisationen involviert: Das Bundesamt für Strassen ASTRA, das Bundesamt für Statistik BFS, das Bundesamt für Umwelt BAFU sowie die kantonalen Ämter, die Eidgenössische Zollverwaltung EZV und die Stiftung Auto-Recycling Schweiz SARS.

In Abbildung 3 sind die Mengenströme im Automobilmarkt Schweiz für das Jahr 2010 zusammengefasst. In diesem Jahr belief sich der Bestand an Personenwagen auf 4,1 Millionen Personenwagen und es wurden fast 300'000 Neuwagen verkauft. Im selben Jahr wurden gemäss der Eidgenössischen Zollverwaltung 90'000 Fahrzeuge als exportiert gemeldet und in den Schweizer Schredderwerken knapp 80'000 Fahrzeuge geschreddert<sup>9</sup>. Zwischen der Erstinverkehrssetzung eines Fahrzeugs und der Annullierung des Fahrzeugausweises liegen durchschnittlich 15 Jahre (SARS 2011). Ein trockengelegtes Altfahrzeug wiegt bei der Anlieferung im Schredderwerk durchschnittlich 850 Kilogramm (Kaufmann 2012).

---

<sup>8</sup> <http://kezo.ch/>; <http://www.zar-ch.ch/>

<sup>9</sup> Von 2005 bis 2009 hat sich die Anzahl der geschredderten Fahrzeuge gemäss SARS (2011) kontinuierlich von ca. 130'000 auf 60'000 verringert (siehe dazu Abbildung 4) und ist im Jahr 2010 wieder auf 80'000 Fahrzeuge angestiegen. Die Anzahl der geschredderten Fahrzeuge hängt von der jeweiligen Marktsituation ab (allgemeine wirtschaftliche Lage, Metallpreise, Exportbeschränkungen, etc.).



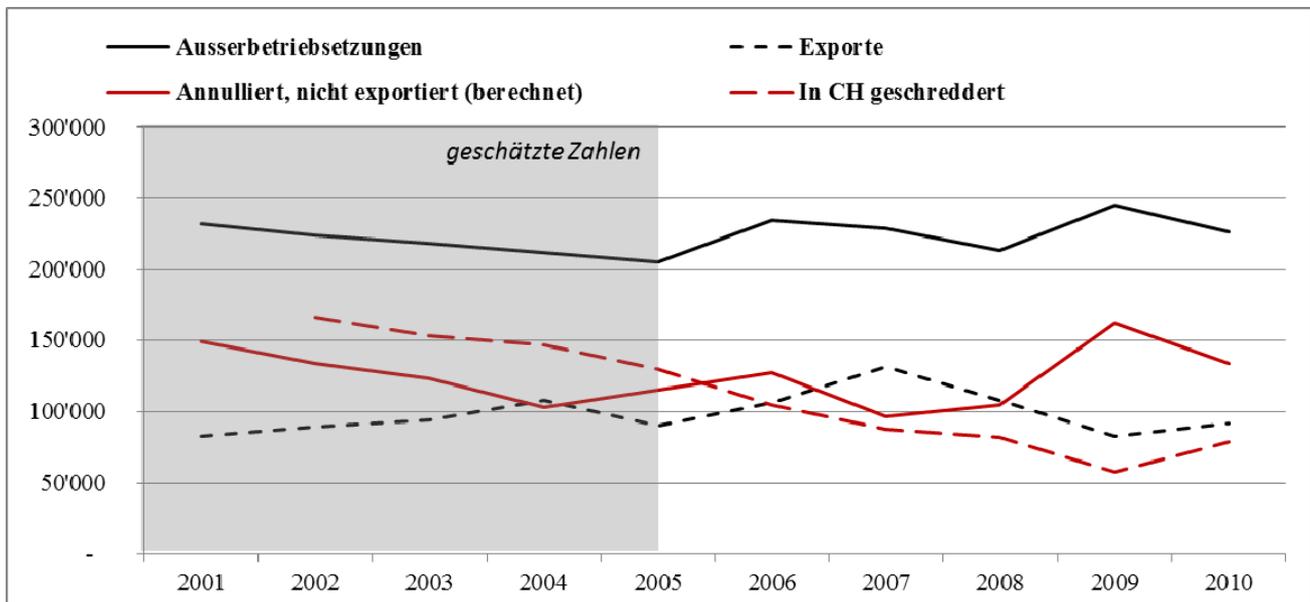
**Abbildung 3. Systemübersicht Personenwagen, Schweiz 2010.**

Da beim Export und bei der Entsorgung ein gewisser Anteil der Fahrzeuge nicht gemeldet werden, können nicht alle Fahrzeugströme zuverlässig geschätzt werden (vgl. Abbildung 4 und Tabelle 4 im Anhang). Die Ausserbetriebsetzungen von Fahrzeugen wurden 2010 auf etwa 225'000 geschätzt<sup>10</sup>. Subtrahiert man davon die etwa 90'000 als exportiert gemeldeten Fahrzeuge, ergibt sich eine Zahl von ca. 135'000 Fahrzeugen, welche in der Schweiz theoretisch annulliert wurden (in der Abbildung 4 als „annulliert, nicht exportiert“ bezeichnet). Bei der SARS wurden im gleichen Jahr von den Schredderwerken jedoch nur ca. 80'000 Fahrzeuge als geschreddert gemeldet. Die Differenz zwischen annullierten und tatsächlich entsorgten Fahrzeugen beträgt 55'000 Fahrzeuge. Es ist nicht klar, wohin diese Fahrzeuge gelangt sind. Es gibt verschiedene Erklärungsversuche, was mit ihnen geschehen ist:

- Fahrzeuge, die bei der Fahrt über den Zoll nicht gemeldet werden, können in keiner Statistik erfasst werden
- Altfahrzeuge oder Teile davon werden auf privaten Grundstücken oder Sammelplätzen noch Monate bis Jahre gelagert
- Altfahrzeuge werden bei den Autoverwertern als Quelle für Ersatzteile gelagert. Nach einigen Monaten bis Jahren gelangen diese dann zum Schredderwerk

<sup>10</sup> Ausserbetriebsetzungen = Neuzulassungen – Bestandeserhöhung (2009 - 2010)

- Teilweise fehlen den Fahrzeugen, die in die Schredderwerke gelangen, die Fahrzeugausweise und können der SARS damit nicht gemeldet werden. Die SARS schätzt, dass die Zahl der tatsächlich geschredderten Fahrzeuge bei ca. 90'000 Fahrzeugen (anstatt den gemeldeten 80'000) liegen könnte.
- Gemäss der SARS (2011) dauert es durchschnittlich 1 Jahr, bis ein Altfahrzeug nach Annullierung des Fahrzeugausweises in ein Schredderwerk gelangt. Ein annulliertes Fahrzeug wird daher erst im Folgejahr in der Statistik der geschredderten Fahrzeuge auftauchen. Die langjährige Zahlenreihe in Abbildung 4 scheint diese These jedoch nicht zu bestätigen.



**Abbildung 4. Ausserbetriebsetzungen und Entsorgung von Automobilen in der Schweiz, 2001 – 2010 (SARS 2011; Christen 2012). Zu beachten: da die Zahl der geschredderten Fahrzeuge bis und mit 2005 aus dem durchschnittlichen Fahrzeuggewicht geschätzt wurde, sind diese Zahlen mit grossen Unsicherheiten behaftet (grau hinterlegt).**

### 3 Elektronische Bauteile

#### 3.1 Auswahl der elektronischen Bauteile für die Messkampagne

Für die Untersuchung stehen für die Probenahme von elektronischen Bauteilen aus Automobilen Ersatzteile aus den Lagern der VASSO-Mitglieder zur Verfügung. Als Grundlage für die Zuordnung der elektronischen Bauteile wurde deshalb eine Liste mit dem Lagerbestand eines VASSO-Mitgliedes vom Januar 2012 benutzt.

Für die Zuordnung und die Auswahl der elektronischen Bauteile für die Probenahme wird folgendermassen vorgegangen (Ziel: geringe Probenzahl):

1. Definition von Gruppen elektronischer Bauteile (Gruppen ähnlicher Funktion).
2. Zuordnung der elektronischen Bauteile aus der Liste zu den Gruppen.
3. Auswahl der elektronischen Bauteile für die Probenahme ("Top ten" der Bauteile, in welchen seltene Metalle Gehalte vermutet werden)

Es wurden 9 Gruppen definiert, welche alle elektronischen Bauteile der Liste abdecken:

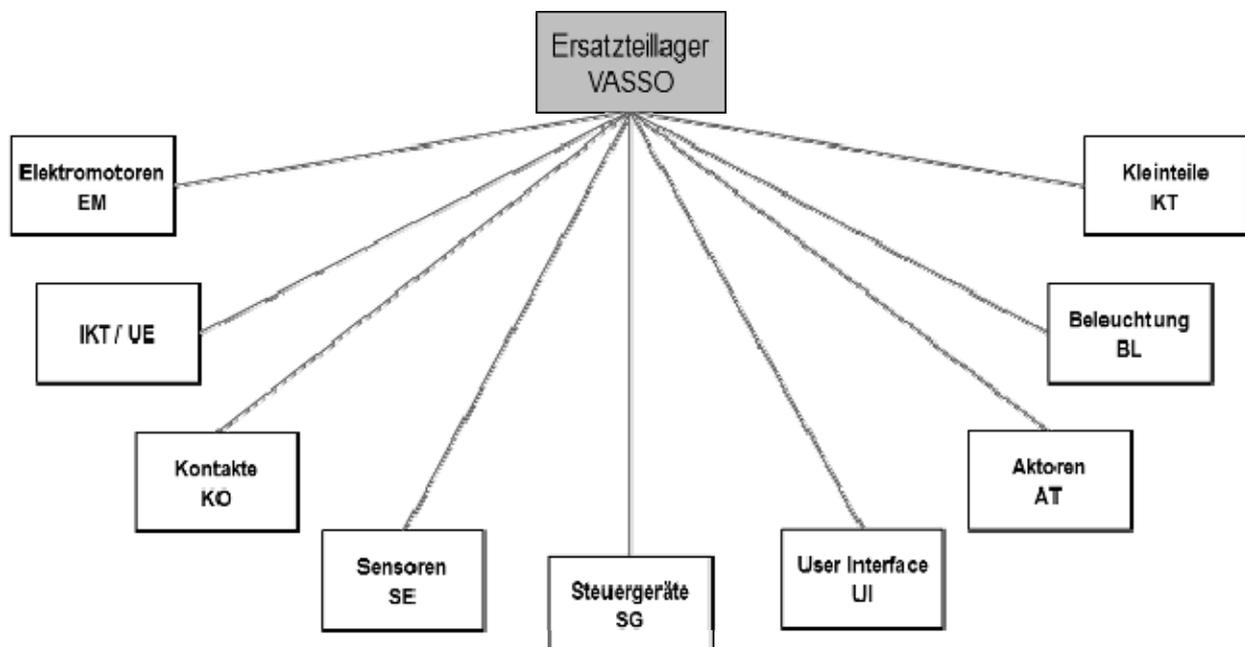


Abbildung 5. Gruppen, in welche die elektronischen Bauteile eingeteilt werden (IKT UE = Informations- und Kommunikationstechnologie & Unterhaltungselektronik).

Auf der Liste sind 260 Bauteiltypen verzeichnet. Davon werden ca. 150 Bauteiltypen nicht elektrisch betrieben und 110 Bauteiltypen enthalten mindestens eine elektronische Komponente. Diese 110 Bauteiltypen wurden einer der 9 Gruppen zugeordnet.

Da keine Möglichkeit besteht, über Herstellerdaten auf die Zusammensetzung der einzelnen elektronischen Bauteile zu schliessen, wird für die Probenahme ein iterativer Prozess vorgeschlagen, der sich weitgehend auf Expertenwissen (Empa, VASSO, SARS, BAFU etc.) stützt.

Ein erster Vorschlag für die Auswahl findet sich in Tabelle 5 im Anhang. Darin ist pro Bauteil jeweils die Gruppenzuordnung, die Priorisierung und die für die Probenahme ausgewählte Stückzahl angegeben. Eine Zusammenfassung dieser Liste findet sich in Kapitel 4.2 (siehe Abbildung 6).

### 3.2 Potential an elektronischen Bauteilen in Altfahrzeugen für die Verwertung seltener Metalle

Für eine Abschätzung der Menge an Elektronikbauteilen in Altfahrzeugen, welche für die stoffliche Verwertung (von seltenen Metallen) genutzt werden könnten, muss zunächst geklärt werden, was heute mit diesen Bauteilen in der Entsorgungskette von Altfahrzeugen geschieht. Interessant für die stoffliche Verwertung sind in erster Linie diejenigen Altfahrzeuge, welche von den Autoverwertern unausgeschlachtet (d.h.: unverändert) in die Schredderanlage befördert werden. Natürlich interessiert auch die gesamte Zahl an unausgeschlachten Altfahrzeugen, die bei den Schredderwerken anfallen. Weil die Autoverwerter als mögliche Partner bei einer zukünftigen Demontage von Elektronikbauteilen für die stoffliche Verwertung in Frage kommen, ist es interessant zu wissen, welche Altfahrzeuge durch die Hände eines AutoverwerTERS gehen.

Quantitativen Daten, die bei dieser Fragestellung helfen könnten, konnten keine gefunden werden. Im Folgenden wurde deshalb anhand von Aussagen von Herrn Kaufmann (2012) versucht, das heutige Potential an Elektronikbauteilen für die stoffliche Verwertung abzuschätzen. Für die Abschätzung wurden folgende Grundlagen benutzt:

1. Anzahl Fahrzeuge, die von VASSO-Mitgliedern verarbeitet werden ( $n_{vasso}$ ); Gemäss den in VeVA-Online erfassten ak-Meldungen für Altfahrzeuge (Codes 16 01 04, 16 01 06) sind im Jahr 2010 10'300 Tonnen von VASSO-Betrieben an Schredderwerke geliefert worden. Dies entspricht 12'100 Fahrzeugen<sup>11</sup>.
2. Marktanteil der VASSO-Mitglieder am gesamten Fahrzeugmarkt bei den Autoverwertern ( $f_{vasso}$ ); Dieser Anteil liegt bei etwa einem Drittel (Kaufmann 2012; Christen 2012).

---

<sup>11</sup> Durchschnittliches Gewicht für vordemontiertes und trockengelegtes Altfahrzeug: 850 Kilogramm.

3. Anteil der Fahrzeuge, welche von den Autoverwertern ohne Demontage von Elektronikbauteilen zu den Schredderwerken gelangen ( $f_{ausbau}$ ); Dieser Anteil ist aufgrund der unterschiedlichen Geschäftsmodelle der Autoverwerter schwierig abzuschätzen. Er liegt gemäss einer groben Schätzung von Kaufmann (2012) aber zwischen etwa 20 und 40%. Da aber auch Fahrzeuge, bei welchen Bauteile demontiert werden, noch elektrische und elektronische Bauteile enthalten, wird angenommen, dass der Anteil der Fahrzeuge ohne Demontage zwischen 30 und 60% liegt.
4. Durchschnittliches Gewicht eines kompletten Altfahrzeuges bei der Annahme durch den Autoverwerter ( $m_{Altr\emptyset}$ ); 1 Tonne (Kaufmann 2012)
5. Gewichtsanteil der Elektronikbauteile am Fahrzeuggewicht ( $f_{elektronik}$ ); Dazu existieren unterschiedliche Zahlen. Eines der Hauptprobleme besteht darin, zu definieren, welche elektronischen (und elektrischen) Bauteile/-komponenten zur Automobilelektronik/-elektrik dazugehören. In der

Tabelle 1 sind die gefundenen und geschätzten Gewichtsanteile aufgelistet. Daraus wurden  
2 Szenarien abgeleitet:

Szenario "Elektronik im Auto" (nur Leiterplatten):  $f_{\text{elektronik}} = 0.1\%$

Szenario "Elektrik im Auto" (Kabelbaum, Steuergeräte, Stromverteiler):  $f_{\text{elektrik}} = 4\%$

**Tabelle 1. Übersicht über gefundene und geschätzte Gewichtsanteile der Automobilelektronik und -elektrik.**

Bauteile	Gewichtsanteil	Automarke/-modell	Quelle
Nur Leiterplatten	0.13%	Mercedes S-Klasse	(Mercedes-Benz 2005)
Nur Leiterplatten	0.1%	Mercedes C-Klasse T-Modell	(Mercedes-Benz 2007)
Werkstoffklasse Elektrik	3% (32 kg / 1043 kg)	VW Golf, 4 Türen, 1.4l 55kw Otto-Motor	(Schweimer & Levin 1999)
E/E-System (Kabelsatz mit Komponenten, Steuergeräte, Stromverteiler, Batterie)	6%	"PKW heute"	(Delphi 2012)
E/E-System ohne Batterie (Kabelsatz mit Komponenten, Steuergeräte, Stromverteiler)	4%	"PKW heute", ohne Batterie (ca. 20 kg in einem PKW)	(Delphi 2012) + eigene Schätzung
Kupfer im Kabelbaum	1,4% (30 kg / 2,2 t)	Audi Q7	(TU Clausthal 2012)

Eine grobe Abschätzung des Gewichtes der elektronischen bzw. elektrischen Bauteile in Altfahrzeugen ( $m_{e/e,Alt}$ ), welche von den Schweizer Autoverwertern zu den Schredderwerken gelangen, kann wie folgt vorgenommen werden:

$$m_{e/e,Alt} = n_{vasso} / f_{vasso} * f_{ausbau} * m_{Alt,Ø} * f_{elektronik}$$

**In**

Tabelle 2 sind die geschätzten minimalen und maximalen Massen an elektronischen bzw. elektrischen Bauteilen in Altfahrzeugen, welche von den Schweizer Autoverwertern zu den Schredderwerken gelangen, dargestellt. Das Minimalszenario basiert dabei darauf, dass 30% der Altfahrzeuge ohne Demontage von den Autoverwertern zu den Schredderwerken geliefert werden; beim Maximalszenario entspricht dieser Wert 60% (siehe Punkt 3 der Abschätzung).

**Tabelle 2. Resultate der Abschätzung zur Masse der elektronischen bzw. elektrischen Bauteile in Altfahrzeugen, die im Jahr 2010 von den Autoverwertern in ein Schredderwerk gelangten (in Tonnen).**

	Min.	Max.
Szenario "Elektronik im Auto"	11 Tonnen	22 Tonnen
Szenario "Elektrik im Auto"	440 Tonnen	880 Tonnen

## 4 Vorschlag für die Messkampagne der Bauteile

Das primäre Ziel der Messkampagne ist es, **Indizien für das Vorkommen der seltenen Metalle in den verschiedenen Bauteilen** zu finden, um einen Überblick über seltene Metalle in der Automobilelektronik zu gewinnen. Es ist nicht beabsichtigt repräsentativ Konzentrationen seltener Metalle für elektronische Bauteile aus Altfahrzeugen zu erheben. Daraus ergeben sich folgende Vorgaben bezüglich der Probenahme:

- Die Anzahl der untersuchten Bauteile wird den zur Verfügung stehenden Bauteilen in den Ersatzteillagern von VASSO angepasst und gering gehalten. Um repräsentative Aussagen über die Konzentrationen seltener Metalle in den elektronischen Bauteilen zu ermöglichen, müsste die Anzahl der untersuchten Bauteile bedeutend höher sein (Hunderte anstelle von Dutzenden).
- Die Anzahl Proben, welche analysiert werden, wird ebenfalls klein gehalten. Für eine repräsentativere Untersuchung wäre die Messung von 3, wenn nicht sogar von 5 oder mehr Proben pro Probenmaterial notwendig. In dieser Messkampagne wird jedoch nur 1 Probe pro Probenmaterial gemessen.

Der hier beschriebene Vorschlag beinhaltet die Auswahl der zu untersuchenden Bauteile, das grundsätzliche Vorgehen für Probenahme und Probenaufbereitung sowie die Rahmenbedingungen für die Analytik.

Aufgrund der Komplexität der untersuchten Bauteile können viele Details der Messkampagne erst im Laufe der Probenahme und der Probenaufbereitung iterativ geklärt werden. So hängt beispielsweise die Anzahl Proben, welche schlussendlich im Labor analysiert werden, davon ab, ob bestimmte Bauteile in gewünschtem Mass zerlegt werden können oder nicht. In ähnlicher Weise hängt das Mitwirken einiger Akteure, z.B. von UMTEC in der Probenvorbereitung, von den Möglichkeiten bei der Zerlegung ab.

### 4.1 Grundsätze für die Messkampagne

Folgende Grundsätze für die Messkampagne sollen helfen, ein kohärentes Vorgehen im Verlauf des Projektes und vor allem auch bei den praktischen Arbeiten zu gewährleisten:

1. Die Bauteile eines untersuchten Bauteiltyps sollen möglichst vielfältig sein, um ein breites Spektrum an Bauteilen abzudecken. Mit anderen Worten: Die Bauteile einer Auswahl sollten von verschiedenen Herstellern und Automarken stammen. Die Auswahl orientiert sich dabei soweit möglich an der Marktstärke.

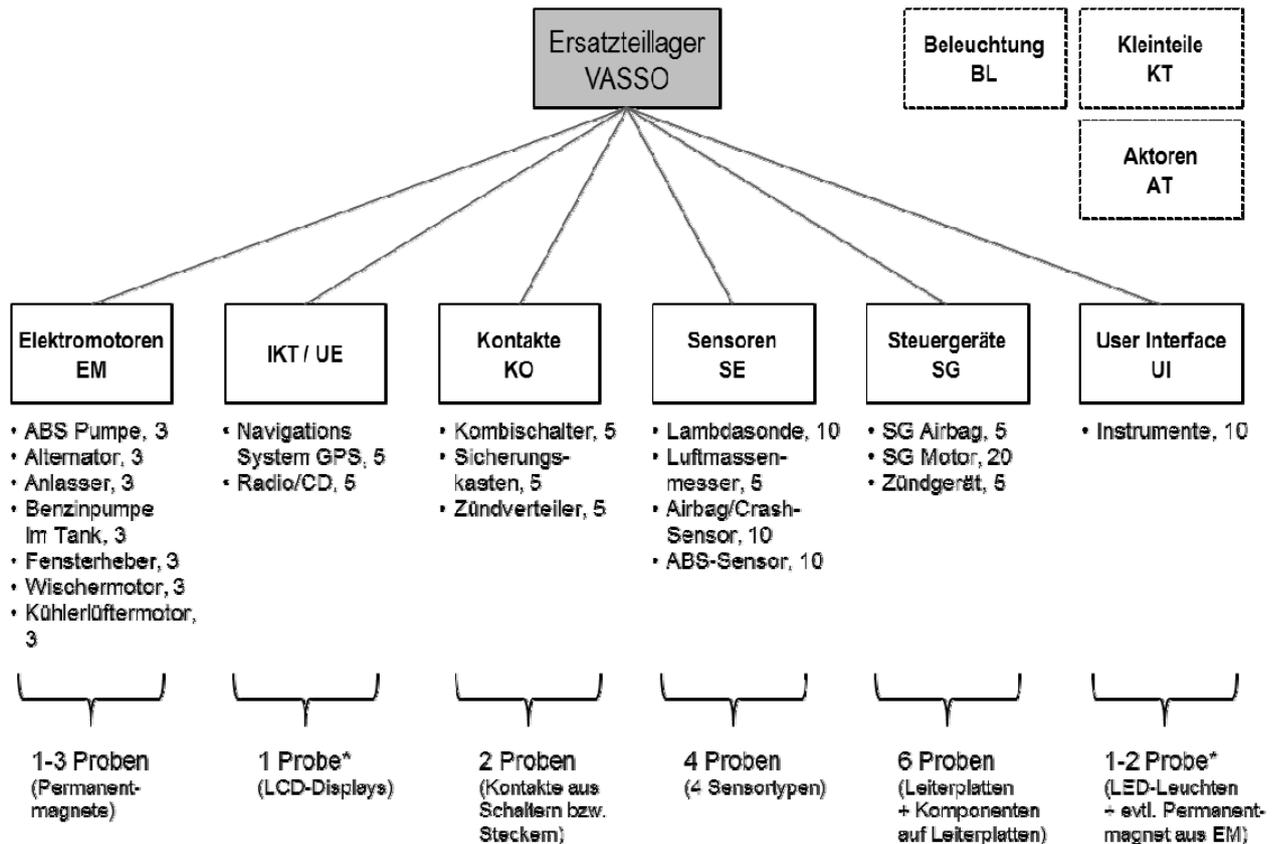
2. Die untersuchten Bauteile stammen ca. aus den Baujahren 2005 - 2008 und aus typischen Personenwagen (PW) der Mittelklasse.
3. Nicht ganze Bauteile sollen chemisch analysiert werden, sondern nur die seltene Metalle - verdächtigen Baukomponenten/-elemente (z.B. Magnete in e-Motoren). In der Regel werden die restlichen Baukomponenten/-elemente (z.B. Gehäuse) nicht untersucht.
4. Zu untersuchende Baukomponenten/-elemente werden nach Möglichkeit so rein wie möglich vom Rest der Bauteile isoliert (Aufkonzentration).
5. Ein Bauteil, welches manuell nicht in gewünschtem Masse (vor-)zerlegt werden kann (nach 3. und 4.), wird durch ein anderes, zerlegbares Bauteil gleichen Typs ersetzt.

## 4.2 Probenahme

Für die Probenahme der elektrischen Bauteile stehen die Ersatzteile in den Lagern der VASSO-Mitglieder zur Verfügung. Die (vorläufige) Auswahl der zu untersuchenden elektronischen Bauteile ist, wie in Kapitel 3 beschrieben, in Abbildung 6 gemäss der vorgeschlagenen Gruppierung dargestellt. Insgesamt wird für die Analytik mit 15 - 18 Proben gerechnet<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> Es ist möglich, dass infolge der Probenahme/-aufbereitung noch einige zusätzliche Proben zusammengestellt werden.



\* Die Leiterplatten und deren Komponenten werden zu den 6 Leiterplatten-Proben der Steuergeräte hinzugefügt

**Abbildung 6. Übersicht über die Bauteilgruppen und die Anzahl Bauteile, die aus den Ersatzteillagern der VASSO-Mitglieder untersucht werden. Zudem wird die voraussichtliche Anzahl Proben angegeben, welche aus den jeweiligen Gruppen für die Plasma-Spektroskopie (Analytik) vorbereitet werden.**

Jede der 6 Gruppen, welchen die ausgewählten Bauteile zugeordnet wurden, ist im Folgenden kurz beschrieben. Bauteile aus den Gruppen Beleuchtung (BL), Kleinteile (KT) und Aktoren (AT) wurden nicht ausgewählt. Die Gründe dafür sind wie folgt:

- BL: Die üblicherweise verwendeten Leuchtmittel sind Glühlampen, d.h. der Gehalt seltener Metalle ist gering bzw. bekannt. Bezüglich seltener Metalle wäre die Xenon-Technologie interessant, doch gemäss Kaufmann (2012) finden sich bei den Autoverwertern noch (fast) keine Leuchtmittel dieser Art.
- KT: Der Anteil an der Fahrzeugelektronik ist gering.
- AT: Diese Bauteile sind nur schwierig ausbaubar und somit kaum verfügbar für die Probenahme.

<b>Elektromotoren (EM)</b>	
Hintergrund / seltene Metalle	<p>In einem Fahrzeug werden für unterschiedlichste Zwecke Elektromotoren eingesetzt (&gt;20 Stück im Schnitt).</p> <p>Seltene Metalle: Bezüglich Vorkommen von seltenen Metallen sind die Permanentmagnete (auch: Dauermagnete) die interessantesten Bauelemente in Elektromotoren. Sie finden sich je nach Elektromotor im Stator oder Rotor. Es werden neben Ferriten neuerdings auch Nd-Fe-B-Magneten oder auch Sm-Co-Magnete eingesetzt.</p>
Interessante Baukomponenten/-elemente	In dieser Gruppe ist für die Beprobung das primäre Ziel, die Magnete zu isolieren und je Magnettyp (Nd-Fe-B / Sm-Co) zu sortieren. Die gewonnen Magneten werden je Typ vermischt, um je 1 Probe pro Typ zu erhalten.
Anzahl Proben	1 - 3
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Um zwischen den beiden Magnettypen zu unterscheiden, könnte es notwendig sein, die Magnete vorab unvermischt mit dem XRF zu analysieren. Es muss abgeklärt werden, ob dies machbar ist.</li> <li>- Magnete können auch durch Kupferwicklungen ersetzt werden, die hier nicht von Interesse sind.</li> </ul>

<b>Informations- und Kommunikationstechnologie / Unterhaltungselektronik (IKT UE)</b>	
Hintergrund / seltene Metalle	<p>Diese Gruppe umfasst vorderhand Geräte in der Mittelkonsole des Armaturenbrettes: Radio/Kassette/CD, Navigationssysteme (GPS), Verstärker, Lautsprecher. Zunehmend finden auch grössere Displays Anwendung im Fahrzeug.</p> <p>Seltene Metalle: In Leiterplatten und LCD-Displays.</p>
Interessante Baukomponenten/-elemente	<p>Einerseits sollen die Leiterplatten und andererseits die LCD-Displays analysiert werden.</p> <p>Die Leiterplatten werden aus dem Gerätegehäuse herausgetrennt. Anschliessend werden verschiedene Bauelemente wie Kondensatoren, Mikroprozessoren, Widerstände, etc. von allen Leiterplatten entlötet (Heissluftfön). Die Bauelemente des gleichen Typs (Kondensatoren, etc.) aller Leiterplatten werden jeweils zu einer Probe zusammengefügt.</p>

Anzahl Proben	1 (LCD-Displays) Probenmaterial der Leiterplatten, siehe <i>Besonderheiten</i>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Baukomponenten der Leiterplatten dieser Bauteile werden in etwa 6 Proben aufgeteilt (siehe <i>Steuergeräte</i>). Wahrscheinlich kann dieses Probenmaterial zum Probenmaterial der SG-Leiterplatten zugefügt werden. Damit kann eine relativ grosse Anzahl Proben eingespart werden.</li> <li>- Leiterplatten: Bei der Zerlegung muss darauf geachtet werden, dass die Kontakte/Beschichtung (Au) nicht verloren gehen.</li> <li>- Displays: Bei den Displays macht es auf jeden Fall Sinn, diese mit Displays aus anderen Gruppen (UI) zu mischen.</li> </ul>

<b>Kontakte (KO)</b>	
Hintergrund / seltene Metalle	<p>Diese Gruppe umfasst vor allem Schalter , die zur Bedienung von z.B. Leuchten (Blinker, Fernlicht, ...), Motoren (Fenster, Spiegel, ...) notwendig sind.</p> <p>Seltene Metalle: Für Kontakte werden vielfach spezifische Legierungen eingesetzt, welche oft seltene Metalle enthalten.</p>
Interessante Baukomponenten/-elemente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Isolation der Kontakte aus Schaltern =&gt; Zusammenfügen aller Kontakte zu einer Probe</li> <li>- Isolation der Kontakte aus Steckern =&gt; Zusammenfügen aller Kontakte zu einer Probe</li> </ul>
Anzahl Proben	2
Besonderheiten	Unter Umständen ist das Aufschliessen der Bauteile schwierig (vergossen, verschweisst, etc.). In diesem Falle werden die ganzen Bauteile zu einer Probe aufbereitet.

<b>Sensoren (SE)</b>	
Hintergrund / seltene Metalle	<p>In einem heutigen Fahrzeug kommen zahlreiche Sensoren vor, die sich in verschiedene Sensortypen einteilen lassen.</p> <p>Seltene Metalle: Sensoren weisen wahrscheinlich eine grosse Palette an seltenen Metallen auf, allerdings bieten sie in Bezug auf die Menge ein kleines Potential, da einerseits die Sensoren selbst klein sind und andererseits die eingesetzten Mengen an seltenen Metallen vielfach gering sind. Aufgrund der erwarteten Zusammensetzung wurden für die Studie die folgende Sensortypen ausgewählt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatursensoren (Luftmassensensor)</li> <li>- Chemische Sensoren (Lambdasonde)</li> <li>- Mikromechanische Sensoren (Airbag-/Crashsensor)</li> <li>- Induktive Sensoren (ABS-Sensor)</li> </ul>
Interessante Baukomponenten/-elemente	Die vier Sensortypen werden so weit wie möglich aus ihrem Gehäuse isoliert und je Typ analysiert.
Anzahl Proben	4
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beim Trennen der Sensoren aus ihrem Gehäuse muss darauf geachtet werden, dass keine interessanten Bauelemente verloren gehen.</li> <li>- Weitere Sensortypen wären: Lichtsensoren, akustische Sensoren (z.B. Parkhilfe), Drucksensoren. Aufgrund des vermutlich geringen Gehaltes an seltenen Metallen wurden diese nicht für die Untersuchung ausgewählt.</li> </ul>

<b>Steuergeräte (SG)</b>	
Hintergrund / seltene Metalle	<p>In einem heutigen Mittelklassewagen kommen etwa 50 – 100 Steuergeräte vor. Einsatz und Funktion der Geräte sind sehr unterschiedlich, doch der generelle Aufbau ist ähnlich: eine bestückte Leiterplatte, einige Steckanschlüsse und ein Gehäuse.</p> <p>Seltene Metalle: In den Leiterplatten (inkl. Steckanschlüsse) und den darauf befindlichen Bauelementen wie Kondensatoren, Mikrochips, etc.</p> <p>-</p>
Interessante Baukomponenten/-elemente	<p>Da die Zusammensetzung der Leiterplatten generell sehr ähnlich ist, werden die Leiterplatten aller Steuergeräte zu einer Probe zusammengefasst. Allerdings sollen ganz spezifisch einzelne Bauelemente von den Leiterplatten entlötet werden (z.B. mit Heissluftfön) und sortiert nach Bauelementtyp analysiert werden<sup>13</sup>, darunter:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- die Kondensatoren, (SMD)</li> <li>- die Widerstände, (SMD mit "ceramic (cermet) conductors such as tantalum nitride (TaN), ruthenium oxide (RuO<sub>2</sub>), lead oxide (PbO), bismuth ruthenate (Bi<sub>2</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), nickel chromium (NiCr), or bismuth iridate (Bi<sub>2</sub>Ir<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)")</li> <li>- die (grossen) Halbleiter (Chips),</li> <li>- die Stecker,</li> <li>- die entlöteten Platinen und</li> <li>- restliche interessante Bauelemente.</li> </ul>
Anzahl Proben	ca. 6

<sup>13</sup> Durch die Sortierung der einzelnen Bauelemente können die Konzentrationen der jeweiligen, betrachteten Metalle erhöht werden und diese sind damit besser nachweisbar. Auf diese Weise lassen sich zudem Aussagen über die Verteilung der Metalle in den verschiedenen Bauelementen machen, was auch spezifische Massnahmenvorschläge für eine gezielte Rückgewinnung seltener Metalle ermöglicht.

<p>Besonderheiten</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Leiterplatten sind vielfach mit Gel oder Klebstoff am Gehäuse der Steuergeräte befestigt (Schutz vor Vibration). Es ist deshalb oft nicht einfach, die Leiterplatten freizubekommen (siehe auch Punkt "Kontakte")</li> <li>- Kontakte: es ist wichtig, dass die Kontakte der Leiterplatten zu den Steckanschlüssen bei der Arbeit nicht verloren gehen (z.B. dünne Goldkontakte).</li> <li>- Es kommen zwei Typen von Leiterplatten zur Anwendung : (1) Epoxy-Leiterplatten und (2) Keramik-Leiterplatten. Es kann sein, dass die Entfernung der Bauelemente von den Keramik-Leiterplatten nicht möglich ist. Eventuell müssen diese deshalb ohne weitere Zerlegung analysiert werden.</li> <li>- Ablösen und sortieren der Bauelemente: diese Arbeit erfordert hohe Sorgfalt und Kenntnisse.</li> <li>- Das Probenmaterial der SG-Leiterplatten wird wahrscheinlich mit dem Probenmaterial von Leiterplatten aus anderen Gruppen (IKT UE, UI) ergänzt, um die Anzahl Proben für die Analytik klein zu halten und die gewünschten Mengen an Probenmaterial zu erhalten.</li> </ul>
-----------------------	---

<p><b>User Interface (UI)</b></p>	
<p>Hintergrund / seltene Metalle</p>	<p>Diese Gruppe bezieht sich in erster Linie auf das Cockpit mit z.B. den Zeigerinstrumenten, welche die für den Betrieb des Fahrzeuges relevanten Informationen anzeigen. Dieses ist oft direkt hinter dem Steuerrad im Armaturenbrett eingebaut.</p> <p>Normalerweise sind diese Anzeigengeräte analog, die digitale Anzeige von Geschwindigkeit, Motordrehzahl, etc. konnte sich nicht durchsetzen.</p> <p>Seltene Metalle: Leiterplatte, einzelne kleine LCD-Displays (teilweise auch grössere), kleine Elektromotoren für analoge Zeiger, LED-Leuchten.</p>

<p>Interessante Baukomponenten/-elemente</p>	<p>Leiterplatten und Bestückung (hier evtl. speziell LED-Leuchten): Primäres Ziel ist es, die Leiterplatten vom Rest der Geräte zu trennen und in ähnlicher Weise wie die Leiterplatten der Steuergeräte für die Analytik vorzubereiten. Die LED-Leuchten würden eine neue Probe ergeben.</p> <p>Die Magnete aus den Elektromotoren werden isoliert und untersucht (Seltene Erden, siehe auch Gruppe <i>EM</i>)</p>
<p>Anzahl Proben</p>	<p>evtl. 1 zusätzliche Probe (falls neuer Magnettyp in den Elektromotoren, siehe <i>Besonderheiten</i>)</p> <p>1 zusätzliche Probe aus Leiterplatten (LED-Leuchten auf Leiterplatten), restliches Probenmaterial der Leiterplatten, siehe <i>Besonderheiten</i></p>
<p>Besonderheiten</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Magnete: Entweder werden diese einem Magnettyp der Elektromotoren-Gruppe (EM) zugeordnet oder – falls es ein neuer Magnettyp sein sollte – als zusätzlicher Magnettyp untersucht.</li> <li>- Die Baukomponenten der Leiterplatten dieser Bauteile werden in etwa 6 Proben aufgeteilt. Wahrscheinlich kann dieses Probenmaterial zum Probenmaterial der SG-Leiterplatten zugefügt werden. Damit kann eine relativ grosse Anzahl Proben eingespart werden. Die LED-Leuchten werden dabei 1 zusätzlich zu untersuchende Probe ergeben.</li> <li>- Allenfalls vorhandene, grössere LCD-Displays können zu den LCD-Displays aus der Gruppe IKT UE hinzugefügt werden.</li> </ul>

### 4.3 Aufbereitung

Da in den verschiedenen elektronischen Bauteilen teilweise spezifisch einzelne Baukomponenten/-elemente untersucht werden sollen, bedürfen diese einer sorgfältigen Aufbereitung, bis sie schliesslich in das Analytik-Labor gelangen.

Zur Probenaufbereitung kann für die manuelle Zerlegung mit Dock St. Gallen (SWICO/SENS Zerlegebetrieb) zusammengearbeitet werden und für die mechanische Aufbereitung – sofern notwendig – das Know-How und die Infrastruktur des Institutes für Umwelt- und Verfahrenstechnik (UMTEC) der Hochschule für Technik Rapperswil (HSR) beigezogen werden.

#### 4.3.1 Zerlegebetrieb Dock St. Gallen

Das Dock St. Gallen ist u.a. Teil der Verwertungs- und Entsorgungskette von elektrischen und elektronischen Geräten (SWICO/SENS) und besitzt durch diese Tätigkeit Erfahrung in der manuellen Zerlegung von Elektroaltgeräten<sup>14</sup>.

Im Rahmen des Projektes besteht die Aufgabe des Docks St. Gallen darin,

- die zu untersuchenden Baukomponenten/-elemente ohne Materialverluste vom restlichen Bauteil zu isolieren (Detail dazu siehe auch die Kurzbeschreibungen der Bauteil-Gruppen in Kapitel 4.2) und
- die Baukomponenten/-elemente so weit wie möglich aufzukonzentrieren.

Die in Kapitel 4.1 aufgelisteten Grundsätze sind bei diesen Arbeiten zentral, insbesondere auch die sorgfältige Dokumentation der zerlegten Bauteile.

Im Februar 2012 wurden durch Dock St. Gallen erste Versuche zur Zerlegung von Bauteilen aus der Automobilelektronik durchgeführt. Die zerlegten Bauteile umfassen Anlassermotoren, Fensterhebermotoren, Wischermotoren, Sensoren (Lambda-Sonden, ABS-Sensor), Verstärker, Lautsprecher und Instrumente aus dem Armaturenbrett (Tachoinstrument, Mittelkonsole mit Komfort- und Unterhaltungseinheit). Bei den Versuchen konnte die Mehrzahl der Geräte in gewünschtem Grad zerlegt werden (siehe Bilder im Anhang 8.3).

---

<sup>14</sup> [http://dock-stgallen.ch/sfa\\_cms/index.php?id=22](http://dock-stgallen.ch/sfa_cms/index.php?id=22)

### 4.3.2 UMTEC

Das Institut UMTEC in Rapperswil betreibt Entwicklung im Bereich der klassischen mechanischen Verfahrenstechnik und betreibt Versuchsanlagen zur Zerkleinerung, Klassierung und Sortierung von Materialien (normalerweise im Labor- bzw. Pilotmassstab)<sup>15</sup>.

Die Probenmaterialien könnten bei der UMTEC auf eine Korngrösse von 1 mm (Metalle), bzw. 1,5 - 2 mm (Kunststoffe) zerkleinert werden. Kleinere Korngrössen zu erreichen ist relativ aufwändig (z.B. Kryotechnik). Um mit den erwähnten Korngrössen bei einer punktuellen (1-dimensionalen) Verteilung der seltenen Metalle trotzdem noch repräsentative Resultate zu erhalten, müssten in der Analytik Probenmengen von 10 – 40 Gramm untersucht werden können<sup>16</sup>.

Der Einbezug der UMTEC für die Probenaufbereitung hängt von mehreren Faktoren ab:

- Je nach Probenmaterial ist eine Probenaufbereitung notwendig oder auch nicht.
- Je nach gewähltem Analytik-Labor kann dieses die Probenaufbereitung selbst übernehmen, so dass sich eine allfällige Unterstützung durch die UMTEC erübrigt.

Aufgrund der Unsicherheit, ob und wie umfangreich die UMTEC bei der Probenvorbereitung beteiligt sein wird, wird vorgeschlagen, die Leistungen der UMTEC nach Aufwand zu vergüten. Gemäss einer ersten, groben Schätzung durch UMTEC könnte sich die Aufbereitung aller Proben (ca. 30) auf etwa 10'000 – 20'000 CHF belaufen.

Mögliches Verfahren zur Sicherstellung der Homogenität des Probenmaterials bei grossen Korngrössen

Damit die Homogenität des aufbereiteten Probenmaterials gewährleistet werden kann, erzeugt die UMTEC normalerweise minimal 3 Proben aus einem Probenmaterial. Indem die in der Analytik gemessenen Werte der 3 Proben verglichen werden, kann überprüft werden, ob das Probenmaterial einigermaßen homogen aufbereitet wurde. Alternativ dazu könnten aus einem Probenmaterial 3 Proben vorbereitet werden, doch diese würden nicht mit Hilfe des Plasma-Spektrometers, sondern mittels kostengünstigerem XRF-Spektrometer auf einzelne „Tracer“-Metalle hin verglichen. Dieses Vorgehen wurde in die Anforderungen an das Analytik-Labor aufgenommen.

---

<sup>15</sup> <http://www.umtec.ch/>

<sup>16</sup> Diese Mengen können nicht mehr im Mikrowellenofen aufgeschlossen werden, dies müsste in einem traditionellen Ofen/Kocher geschehen.

## 4.4 Analytik

Die aufbereiteten Proben werden auf ihren Gehalt an 31 Metallen analysiert (siehe Tabelle 3). Für die Analytik wird ein 2-stufiges Vorgehen vorgeschlagen:

1. Die Proben werden in einem ersten Schritt mittels XRF auf den Gehalt an seltenen Metallen gescannt, um einen ersten Überblick über die seltenen Metalle in den Proben zu gewinnen. Dies lässt auch Schlussfolgerungen für die Planung des nasschemischen Aufschlusses und der Plasma-Spektroskopie zu.
2. Anschliessend werden die Proben nasschemisch aufgeschlossen und mittels Plasma-Spektroskopie (ICP-OES oder ICP-MD) auf die 31 Metalle untersucht.

Bei der Probenaufbereitung muss u.a. sichergestellt werden, dass in den Proben, die für die Analytik aufbereitet werden, keine Inhomogenitäten auftreten.

**Tabelle 3. Zu analysierende Elemente.**

Ag	Gd	Nd	Sb	W
Au	Ge	Pd	Sm	Y
Be	In	Pr	Sn	Zr
Ce	La	Pt	Sr	
Co	Li	Rb	Ta	
Dy	Mo	Re	Tb	
Ga	Nb	Ru	Te	

Rot eingefärbt: Elemente, die jeweils in nur 1 Probe analysiert werden.

## 5 Vorschlag für die Messkampagne der Schredderfraktionen

Ziel der Untersuchung der Schredderfraktionen ist es, eine Übersicht über die Verteilung der seltenen Metalle in den verschiedenen Schredderfraktionen zu gewinnen und damit eine Aussage über das Auftreten der seltenen Metalle in der Entsorgungskette zu ermöglichen. Da hier eine repräsentativere Probenahme als bei der Probenahme der Bauteile möglich ist, sollte bei der Analytik (und auch bei der Probenaufbereitung) speziell darauf geachtet werden, dass die Unsicherheiten klein gehalten werden.

Es sollen dieselben seltenen Metalle wie für die Bauteile untersucht werden. Während die Analytik auf ähnliche Weise wie bei der Messkampagne der Bauteile durchgeführt werden kann, ergeben sich für die Schredderfraktionen andere Anforderungen an Probenahme und Probenaufbereitung. Für die Analytik wird auf das Kapitel 4.4 verwiesen.

### 5.1 Probenahme

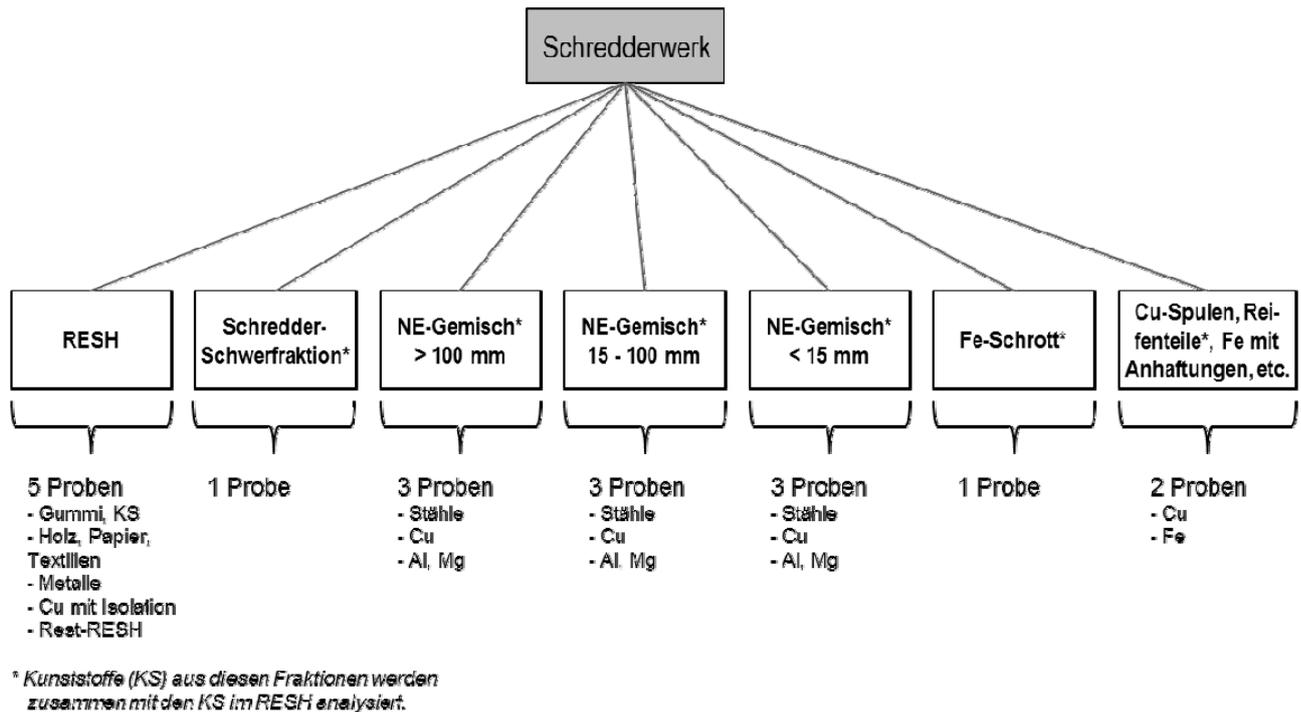
Für die Probenahme der Schredderfraktionen soll in einem Schredderwerk ein Batchversuch durchgeführt werden, bei welchem nur Altfahrzeuge, d.h. kein anderer Schrott, mitverarbeitet wird.

Rahmenbedingungen für den Batchversuch	
Ziel	Es sollen möglichst repräsentative Proben von allen Output-Fraktionen des Schredders entnommen werden.
Potentielle Schredderwerke für Batchversuch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thommen AG in Kaiseraugst</li> <li>• Thevenaz-Leduc SA in Ecublens-Lausanne</li> </ul>
Unkosten für Schredderwerk	ca. 10'000 CHF zur Entschädigung des Schredderwerkes (Christen 2012); SARS zeigt Interesse daran, im Rahmen desselben Batchversuches ihre Untersuchungen der RESH-Fraktion durchzuführen. Gemäss D. Christen von SARS könnten die Unkosten für diesen Batchversuch daher zwischen dem vorliegenden Projekt und den SARS-Aktivitäten geteilt werden.
Zeitaufwand	ca. 1 Tag

Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bereitstellung von ca. 100 t Altfahrzeugen.</li> <li>2. Reinigung und Leerung des Schredders, um Verunreinigungen mit Reststoffen aus anderen Input-Fractionen zu vermeiden.</li> <li>3. Falls möglich: Beschreibung der Altfahrzeuge, welche geschreddert werden (Grad der Ausschichtung, Marke/Modell/Segment).</li> <li>4. Schreddern der 100 t Altfahrzeuge</li> <li>5. Probenahme gemäss DIN Standardprobenahme für inhomogene Analysematerialien (siehe Schema im Anhang 8.1).</li> <li>6. Jede Output-Fraktion wird in eine bis mehrere Proben aufgeteilt, so dass die gesamte Output-Fraktion analysiert werden kann (siehe ).<sup>17</sup></li> </ol>
Anzahl Proben f. Analytik	<p>Ca. 18 (siehe Abbildung 7);          Die Anzahl der zu untersuchenden Proben hängt davon ab, wie viele Output-Fractionen im betrachteten Schredderwerk generiert werden und in wie viele Probenmaterialien die jeweiligen Fractionen für die Analytik unterteilt werden müssen.</p>

---

<sup>17</sup> Vor der Probenahme sind die entsprechenden Möglichkeiten und Limitierungen bei der Analytik mit dem entsprechenden Labor (und allenfalls UMTEC) abzuklären.



**Abbildung 7. Übersicht über die Schredder-Output-Fractionen und die Anzahl Proben, die aus diesen Fraktionen für die Analytik vorbereitet werden (Grundlage: siehe Abbildung 2). Die Anzahl der Output-Fractionen sowie die definitive Anzahl der zu untersuchenden Proben hängen vom gewählten Schredderwerk sowie auch von den Anforderungen der Analytik an die Probenmaterialien ab.**

## 5.2 Aufbereitung

Die Fraktionen, welche im Schredderwerk beprobt werden, sind hinsichtlich Materialien, Korngrößen, etc. sehr unterschiedlich. So enthalten beispielsweise die meisten der im Schredder generierten Fraktionen sowohl Metalle als auch Kunststoffe und lassen sich somit in der Analytik nicht gemeinsam aufschliessen und untersuchen. Weiterhin enthalten einige Fraktionen (Metall-)Teile, die einen Durchmesser > 100 mm aufweisen (Lindemann & Metso Minerals n.d.) und deshalb für die Analytik speziell aufbereitet werden müssen.

Für die Probenaufbereitung sollte deshalb wie folgt vorgegangen werden:

1. Sortierung der Probematerialien nach Materialtyp gemäss den Anforderungen der Analytik und der weiteren Schritte in der Probenaufbereitung. Dabei können zusätzliche Proben für die Analytik entstehen (vergleiche Abbildung 7).
2. Sofern technisch und finanziell machbar sollten die Staubfraktionen, die an Fraktionen mit grösseren Korngrößen anhaften, von letzteren gelöst/abgewaschen werden (siehe Erläuterungen unten). Dabei können weitere Proben für die Analytik entstehen (vergleiche Abbildung 7).

3. Zerkleinerung der Proben auf die, vom entsprechenden Labor verlangte Korngrösse. Es muss für jede Probe einzeln entschieden werden, ob und in welcher Weise diese vor der chemischen Analyse im Labor zerkleinert und aufbereitet werden soll. Für diese Arbeiten kommen einerseits das UMTEC und andererseits Bachema in Frage (bei beiden Vergütung nach Aufwand).

Wie oben beschrieben, wird sich erst bei der Probenaufbereitung erweisen, wie hoch die definitive Anzahl der zu untersuchenden Proben ausfällt. Ein Aspekt, welcher die Anzahl Proben weiter erhöhen könnte und hinsichtlich der Messung von seltenen Metallen – falls technisch und finanziell möglich – berücksichtigt werden sollte, sind die potentiellen Anhaftungen von seltene Metalle - haltigen Staubfraktionen an Fraktionen mit grösseren Korngrössen (siehe Schritt 2 der Probenaufbereitung). Aufgrund der Erfahrungen, die im Rahmen des Monitorings des Schweizer Elektroschrottrecyclings gemacht wurden, wird vermutet, dass ein gewisser Anteil der seltenen Metalle in den Staubfraktionen aus den Schredderanlagen zu finden ist. Diese Vermutung wird von Chancerel et al. (2009) untermauert: In besagter Untersuchung wurde festgestellt, dass bei einer State-of-the-Art-Behandlung des Elektroschrotts<sup>18</sup> ca. 5% des Palladiums als Staub bzw. im am Boden zusammengewischten Abfall zu finden ist<sup>19</sup>. Angesichts der teilweise bestätigten Vermutung, dass seltene Metalle in bedeutenden Mengen in den Staubfraktionen vorzufinden sind, wäre eine Analyse der Staubfraktionen sowie von seltenen Metalle, die an gröberen Fraktionen anhaften, besonders interessant. Gemäss Bachema (2012) scheinen jedoch Verfahren, wie solche Anhaftungen gezielt von gröberen Fraktionen zu lösen und anschliessend zu analysieren sind, nicht Standard zu sein. Vor der Probenahme sollte genauer geprüft werden, ob solche Verfahren existieren und ohne allzu grossen Mehraufwand angewendet werden können.

---

<sup>18</sup> Prozessschritte bei einer State-of-the-Art-Behandlung von Elektroschrott (Chancerel et al. 2009): (1) Vorsortierung, (2) manuelle Sortierung und Schadstoffentfrachtung, (3) Vorschreddern und manuelle Sortierung und (4) Schreddern und automatische Sortierung.

<sup>19</sup> In derselben Studie wurde festgestellt, dass beispielsweise nur ca. 25% des Palladiums in die Fraktion gelangen, die anschliessend an die Edelmetallschmelze geliefert wird. Ähnlich tiefe Werte wurden für Gold und Silber gemessen. Der grösste Anteil des Palladiums wurde in der Kunststofffraktion gefunden und ist somit für die Rückgewinnung seltener Metalle verloren.

## 6 Glossar

Altfahrzeug	<p>Bei den Autoverwertern wird von einem Altfahrzeug gesprochen, wenn ein Personenwagen mehr als etwa 10 Jahre alt ist und es nicht mehr rentabel ist, diesen auszuschlachten (Kaufmann 2012).</p> <p>In der Schweiz gilt ein gebrauchtes Fahrzeug als Abfall (und damit als Altfahrzeug),</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• wenn es zur Demontage oder zur Gewinnung von Ersatzteilen bestimmt ist, oder</li> <li>• wenn es ausgebrannt ist, oder</li> <li>• wenn es deutlich deformiert ist und zudem ersichtlich ist, dass z. B. das Fahrgestell (Chassis) verzogen ist.</li> </ul> <p>(Hügi et al. 2008)</p>
Ausschlachten	Entnahme der noch funktionsfähigen Ersatzteile aus einem Altfahrzeug (z.B. durch den Autoverwerter).
Automobil	<p>Mit dem Begriff Automobil sind aber allgemein mehrspurige Kraftfahrzeuge gemeint, die von einem Motor angetrieben werden und zur Beförderung von Personen und Frachtgütern dienen<sup>20</sup>. Der Begriff umfasst also nicht nur Personenwagen, sondern z.B auch Auto- und Reisebusse, Lastkraftwagen.</p> <p>Dem allgemeinen Sprachgebrauch entsprechend bezeichnet ein Automobil in dieser Studie ausschliesslich einen Personenwagen (siehe Personenwagen).</p>
Baelement	<p>Bezeichnet "den kleinsten grundlegenden, als Einheit betrachteten Bestandteil"<sup>21</sup> eines Bauteils. Beispiele: Kondensator auf Leiterplatte, Kolben in ABS-Hydraulikeinheit, etc.</p> <p>Siehe auch (Bau-)Komponente.</p>
Elektrisches bzw. elektronisches Bauteil	Als elektronische Bauteile im Automobil werden alle spannungsführenden Bauteile/Geräte bezeichnet, welche eine elektrische bzw. eine elektronische Funktion ausführen. Beispiele: Steuergerät, Sensor, Elektromotor, etc.

<sup>20</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Automobil>

<sup>21</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrisches\\_Baelement](http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrisches_Baelement)

Fahrzeug	<p>Unter dem Begriff Fahrzeuge oder Altfahrzeuge werden Autos (Personenwagen), Motorräder und Fahrräder zusammengefasst<sup>22</sup>.</p> <p>In diesem Bericht jedoch bezieht sich der Begriff <i>Fahrzeug</i> ausschliesslich auf Personenwagen.</p>
Kleinwagen	Beinhaltet die Fahrzeugsegmente A: Kleinstwagen und B: Kleinwagen nach Europäischer Kommission (Europäische Kommission 2002).
(Bau-)Komponente	<p>Als Komponenten werden die Einzelteile oder Bestandteile in einem Bauteil/Gerät bezeichnet. Beispiele: Leiterplatte eines Steuergerätes, Kupferspule in einem Elektromotor, etc.</p> <p>Siehe auch <i>Bauelement</i>.</p>
Mittelklasse	Beinhaltet die Fahrzeugsegmente C: Mittelklasse und D: Obere Mittelklasse nach Europäischer Kommission (Europäische Kommission 2002).
Oberklasse	Beinhaltet die Fahrzeugsegmente E: Oberklasse, F: Luxusklasse und J: Geländewagen (SUV) nach Europäischer Kommission (Europäische Kommission 2002).
Personenwagen (PW)	<p>Mehrspurige Fahrzeuge mit eigenem Antrieb zum vorwiegenden Zwecke der Personenbeförderung<sup>23</sup>. In der Schweiz werden Personenwagen als "Motorfahrzeuge zum Personentransport bis 9 Personen mit weniger als 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht" definiert<sup>24</sup>. In Deutschland wird der Begriff Personenkraftwagen (PKW) verwendet.</p> <p>In diesem Bericht bezieht sich der Begriff <i>Fahrzeug</i> ausschliesslich auf Personenwagen.</p>
Seltene Metalle	Der Begriff <i>seltene Metalle</i> bezeichnet in dieser Studie diejenigen Metalle, deren Konzentration in der Erdkruste durchschnittlich weniger als 0.01 Gewichts-% beträgt (Skinner 1979). <sup>25</sup> Für nähere Informationen und

<sup>22</sup> [http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/abfall\\_rohstoffe\\_altlasten/abfall/abfallarten/fahrzeuge.html](http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/abfall_rohstoffe_altlasten/abfall/abfallarten/fahrzeuge.html)

<sup>23</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Pkw#Definitionen>

<sup>24</sup> <http://www.bafu.admin.ch/luft/00596/00597/04343/05294/>

<sup>25</sup> Zirkonium (Zr) und Strontium (Sr), die hier ebenfalls untersucht werden, sind gemäss Skinner (1979) (geochemisch) nicht selten. Zr wurde aufgrund von vermuteten Gehalten in einzelnen Bauteilen mitberücksichtigt, Sr aufgrund seiner relativ bedeutenden Konzentration im Elektroschrott in vorhergehenden Untersuchungen.

	weiterführende Studien zu seltenen Metallen und ihren Kritikalitäten siehe auch Wäger, Widmer, und Stamp (2011) .
Trockenlegung	Bei der Trockenlegung werden dem Altfahrzeug sämtliche Betriebsflüssigkeiten (Treibstoff, Bremsflüssigkeiten, etc.) entnommen.
Unfallfahrzeug	Im Allgemeinen ist es so, dass Autos als Unfallfahrzeug bezeichnet werden, wenn diese einen Unfall hatten und augenblicklich beschädigt sind. Hierbei spielt es so gut wie keine Rolle, wie es um den Schaden bestellt ist (ob Totalschaden oder leichter Unfallschaden). <sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> <http://www.autoversicherung-online.info/KFZ-Lexikon/U/Unfallfahrzeug>

## 7 Literatur

- Angerer, G. & Erdmann, L., 2009. *Rohstoffe für Zukunftstechnologien*, Karlsruhe, Germany: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.
- Bachema, A., 2012. Persönliche Kommunikation mit Rolf Gloor und Olaf Haag.
- Chancerel, P. et al., 2009. Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment. *Journal of Industrial Ecology*, 13(5), pp.791–810.
- Christen, D., 2012. Persönliche Korrespondenz mit Daniel Christen von der Stiftung Auto-Recycling Schweiz SARS.
- Delphi, 2012. Elektromobilität - Thema für Zulieferer. Available at: [http://www.energieregion.nrw.de/\\_database/\\_data/datainfopool/090508-1110-Delphi-E-Mobilitaet.pdf](http://www.energieregion.nrw.de/_database/_data/datainfopool/090508-1110-Delphi-E-Mobilitaet.pdf) [Accessed February 22, 2012].
- Europäische Kommission, 2002. Kraftfahrzeugbetrieb und -kundendienst in der Europäischen Union, Verordnung (EG) Nr. 1400/2002 der Kommission vom 31. Juli 2002.
- European Commission, 2010. Critical Raw Materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, Brussels, Belgium: European Commission.
- Hagelueken, C. & Meskers, C., 2010. Complex Life Cycles of Precious and Special Metals. In *Linkages of Sustainability*. Strüngmann Forum reports. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Hella, 2011. Fahrzeugelektronik - leicht gemacht! Teil 1. Available at: [http://www.hella.com/produktion/HellaPortal/WebSite/InternetSpezial/Spezial\\_d/e\\_rallye\\_08/documents/EE08\\_06\\_B\\_Electronics\\_Part1.pdf](http://www.hella.com/produktion/HellaPortal/WebSite/InternetSpezial/Spezial_d/e_rallye_08/documents/EE08_06_B_Electronics_Part1.pdf).
- Hügi, M. et al., 2008. Abfallwirtschaft 2008, Zahlen und Entwicklungen der schweizerischen Abfallwirtschaft 2005–2007, Bern, Schweiz: Bundesamt für Umwelt BAFU.
- Kaufmann, 2012. Persönliche Kommunikation mit Andreas Kaufmann der Truninger AG.
- Lindemann & Metso Minerals, Verfahrensbeschreibung einer Karrosserie-Shredderanlage mit NE-Metallaufbereitung.
- Mercedes-Benz, 2007. Umwelt-Zertifikat C-Klasse T-Modell.
- Mercedes-Benz, 2005. Umwelt-Zertifikat Mercedes-Benz S-Klasse.
- SARS, 2011. Jahresbericht 2010.
- Schweimer, G. & Levin, M., 1999. Sachbilanz des Golf A4.

SEES, 2006. Sustainable Electrical & Electronic System for the Automotive Sector - D4: Analysis and Demonstration Activity for E&E Recycling, European Commission.

Skinner, B., 1979. Earth Resources. In Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. pp. 4212–4217.

Stephan, J. et al., 2010. *Verwertungspotential Autoelektronik - Studienkonzept für Rohstoffrückgewinnungspotentiale aus der Fahrzeugelektronik*, Berlin, Deutschland: Fraunhofer-Institut für Mikroelektronik, Bundesamt für Umwelt BAFU.

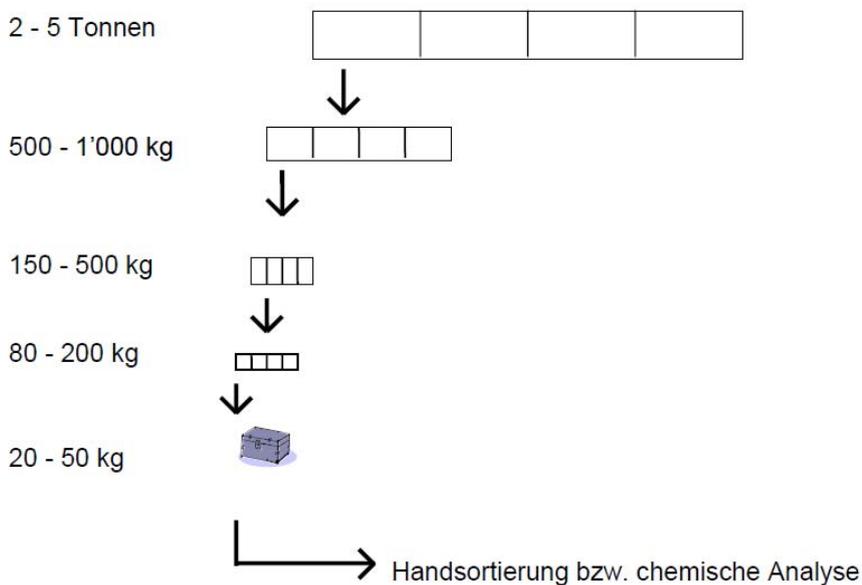
TU Clausthal, 2012. Projekt CarRing II. Available at: <http://www.in.tu-clausthal.de/abteilungen/technische-informatik-und-rechnersysteme/forschung/abteilung-rechnernetze/projekt-carring-ii/> [Accessed February 22, 2012].

Wäger, P., Widmer, R. & Stamp, A., 2011. *Scarce technology metals – applications, criticalities and intervention options*, St.Gallen, Switzerland: Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research Empa.

## 8 Anhang

### 8.1 Standardprobenahme für Schredderfraktionen

Die Probenahme wird gemäss DIN Standardprobenahme (siehe ) für inhomogene Analysematerialien (z.B. Kohle) durchgeführt. Aus einer Ausgangsmenge von 2 bis 5 Tonnen wird ein Viertel herausgenommen, dieser dient als neue Ausgangsmenge. Dieses Vorgehen wird viermal wiederholt. Die jeweilige Ausgangsmenge wird zuerst mit Greifern (oder Vorderlader) später mit Schaufeln gut durchmischt, bevor sie weiter geteilt wird.



**Abbildung 8. Schema für die Probenahme der Schredderfraktionen (Quelle: SARS).**

## Zahlen zum PW-Markt Schweiz

**Tabelle 4. Übersicht über Neuzulassungen, Bestand, Ausserbetriebsetzungen, Exporte und geschredderte Fahrzeuge in der Schweiz von 1988 - 2010 (Christen 2012).**

Jahr	Neuzu- lassungen	Bestand	Ausser- betrieb- setzung*	Exporte	In CH annulierte Fahrzeuge	In CH geschreddert	Differenz annuliert zu geschreddert	
	(ASTRA)	(BFS/ASTRA)		(EZV)			(7)	(8)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)		
1988	321'366	2'745'491	308'595	18'410	290'185			
1989	335'094	2'895'842	184'743	24'288	160'455			
1990	327'456	2'985'399	237'899	37'793	200'106			
1991	314'824	3'057'800	242'423	83'592	158'831			
1992	296'009	3'091'230	262'579	58'476	204'103			
1993	262'814	3'109'524	244'520	53'075	191'445			
1994	270'009	3'165'043	214'490	60'186	154'304			
1995	272'897	3'229'169	208'771	43'865	164'906			
1996	269'529	3'268'073	230'625	63'152	167'473			
1997	272'441	3'323'421	217'093	67'309	149'784			
1998	297'336	3'383'273	237'484	70'261	167'223			
1999	317'985	3'467'275	233'983	91'936	142'047			
2000	315'398	3'545'247	237'426	73'404	164'022			
2001	317'126	3'629'713	232'660	83'319	149'341			
2002	295'109	3'700'951	223'871	89'851	134'020	166'198	**	-32'178
2003	271'541	3'753'890	218'602	94'682	123'920	153'412	**	-29'492
2004	269'211	3'811'351	211'750	108'235	103'515	147'096	**	-43'581
2005	259'426	3'864'994	205'783	90'354	115'429	129'704	**	-14'275
2006	269'421	3'899'917	234'498	106'857	127'641	104'600		23'041
2007	284'674	3'955'787	228'804	131'695	97'109	88'261		8'848
2008	288'525	4'030'965	213'347	108'205	105'142	82'195		22'947
2009	266'018	4'051'569	245'414	82'967	162'447	58'279		104'168
<b>2010</b>	<b>294'239</b>	<b>4'119'370</b>	<b>226'438</b>	<b>91'965</b>	<b>134'473</b>	<b>78'657</b>		<b>55'816</b>
ASTRA:	Bundesamt für Strassen (Bestand per 30. September)							
BFS:	Bundesamt für Statistik (ab 2008 ASTRA und nicht mehr BFS)							
EZV:	Eidgenössische Zollverwaltung (Aussenhandelsstatistik)							
*	berechnet: Neuzulassung minus Bestandesehöhung							
**	umgerechnet aus den Waagscheinen (850kg/Fahrzeug), ab 2006 annullierte Fahrzeugausweise							

## 8.2 Komplette Liste zur Auswahl der elektronischen Bauteile

**Tabelle 5. Liste der elektronischer Bauteile im Lager der Truninger AG mit Zuordnung in die definierten Gruppen, Priorität für die Probenahme, Stückzahl für die Probenahme und dem Lagerbestand. Priorität 1 ist die höchste Priorität.**

Gruppe	Art	Bezeichnung	Priorität	Stückzahl
AT	-	EGR- / AGR- Ventil	3	
AT	-	Einspritzeinheit Monojet	3	
AT	-	Heizelement	3	
AT	-	Heizwiderstand	3	
AT	-	Servo-Lenkung elektrisch	2	
BL	-	Blinker links	3	
BL	-	Blinker rechts	3	
BL	-	Kombileuchte vo li	3	
BL	-	Leuchte Bi-Xenon vo li	3	
BL	-	Leuchte hi li innen	3	
BL	-	Leuchte hi li oben	3	
BL	-	Leuchte hi re innen	3	
BL	-	Leuchte hi re oben	3	
BL	-	Leuchte hi li	3	
BL	-	Leuchte hi re	3	
BL	-	Leuchte vo li aussen	3	
BL	-	Leuchte vo li innen	3	
BL	-	Leuchte vo re aussen	3	
BL	-	Leuchte vo re innen	3	
BL	-	Leuchte Xenon vo li	3	
BL	-	Leuchte Xenon vo re	3	
BL	-	Nebelleuchte vo li	3	
BL	-	Nebelleuchte vo re	3	
BL	-	Standlicht li	3	
BL	-	Standlicht re	3	
EM	mot	ABS Pumpe	1	3
EM	gen	Alternator	1	3
EM	mot	Anlasser	1	3
EM	mot	Benzinpumpe	3	

EM	mot	Benzinpumpe im Tank	1	3
EM	mot	Dieselpumpe	3	
EM	mot	Fensterheber hi links	3	
EM	mot	Fensterheber hi rechts	3	
EM	mot	Fensterheber vo links	2	
EM	mot	Fensterheber vo rechts	1	
EM	mot	Heizlüfter	2	
EM	mot	Klimakühler Lüfter	3	
EM	-	Kühlerlüfter	2	
EM	mot	Lenkhilfmotor el.	2	
EM	mot	Lenksäulenstellmotor	3	
EM	mot	Pumpe Fahrwerk	3	
EM	mot	Pumpe ZV Zentralverriegelung	3	
EM	mot	Scheinwerfermotor li	2	
EM	mot	Scheinwerfermotor re	3	
EM	mot	Schiebedach/Cabrio-Motor	2	
EM	mot	Wasserpumpe elektrisch	3	
EM	mot	Wischermotor hi	2	
EM	mot	Wischermotor vo	1	5
EM	trafo	Zündspule	3	
IKT UE	-	Antenne	3	
IKT UE	-	CD Wechsler	1	3
IKT UE	-	Navigations System GPS	1	3
IKT UE	-	Radio/CD	1	3
IKT UE	-	Radio/Tonband	3	
KO	-	Fensterheberschalter	3	
KO	-	Kombischalter	1	5
KO	-	Kombischalter li	3	
KO	-	Kombischalter re	2	
KO	-	Lichtschalter / Drehschalter	3	
KO	-	Sicherungskasten	1	5
KO	-	Tempomat-Schalter	3	

KO	-	Zündverteiler	1	5
KT	-	Kleinteil Elektrisch	3	
SE	ind	ABS Sensor	3	
SE	-	Airbagsensor I	3	
SE	-	Airbagsensor II	3	
SE	-	E-Gaspedal	3	
SE	-	Lambdasonde I	1	10
SE	-	Lambdasonde II	2	
SE	-	Lambdasonde III	3	
SE	-	Lambdasonde IV	3	
SE	-	Lenkwinkelsensor	3	
SE	-	Luftmassenmesser	1	5
SE	-	Luftmengenmesser	3	
SE	-	Mapsensoren	3	
SG	-	ABS-Bremskraft-Regler	2	
SG	-	Bordcomputer	1	5
SG	-	Klimakontroll	2	
SG	-	Leerlaufregler	3	
SG	-	Steuergerät ABS	2	
SG	-	Steuergerät Airbag	1	5
SG	-	Steuergerät Alarm	3	
SG	-	Steuergerät Allrad	3	
SG	-	Steuergerät ASR	3	
SG	-	Steuergerät Automat	3	
SG	-	Steuergerät Bremsassistent	3	
SG	-	Steuergerät Cabrio- Verdeck	3	
SG	-	Steuergerät diverse	2	
SG	-	Steuergerät E-Gas	3	
SG	-	Steuergerät EGS	3	
SG	-	Steuergerät Einspritzung	1	5
SG	-	Steuergerät ESP	3	
SG	-	Steuergerät Fahrwerk	3	
SG	-	Steuergerät Heizung	3	

SG	-	Steuergerät HGS	3	
SG	-	Steuergerät Hyd. Aktiv	3	
SG	-	Steuergerät Klima	3	
SG	-	Steuergerät Komfort	3	
SG	-	Steuergerät Lenkung	3	
SG	-	Steuergerät LWR	3	
SG	-	Steuergerät Motor	1	10
SG	-	Steuergerät Multifunktion	3	
SG	-	Steuergerät Parkhilfe	3	
SG	-	Steuergerät Tempo.	3	
SG	-	Steuergerät Xenon I	3	
SG	-	Steuergerät Xenon II	3	
SG	-	Steuergerät ZV - Zentralverriegelung	3	
SG	-	Zündgerät	1	5
UI	-	Instrumente	1	10
UI	-	Multifunktionsanzeige	3	

### 8.3 Dokumentation Zerlegeversuche

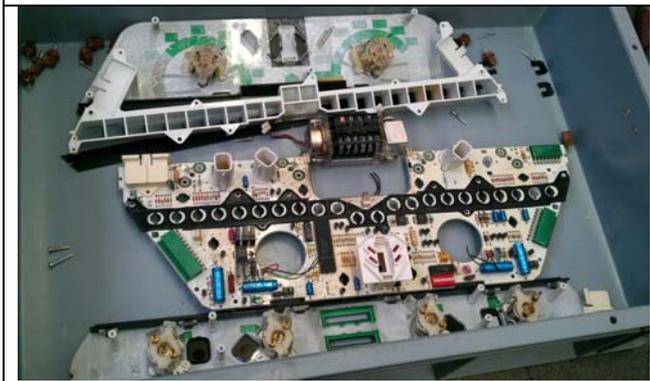
Alle Fotos sind im Rahmen der Zerlegeversuche beim Dock St. Gallen im Februar 2012 entstanden (Quelle: Empa/Dock SG).



Tachoinstrument/Cockpit, unzerlegt



Tachoinstrument/Cockpit, zerlegt



Tachoinstrument/Cockpit, zerlegt



Tachoinstrument/Cockpit, zerlegt



Mittelkonsole (Komfort/Unterhaltung), unzerlegt



Mittelkonsole (Komfort/Unterhaltung), zerlegt



Wischermotor, unzerlegt



Wischermotor, zerlegt



ABS-Modul (Steuergerät, Hydraulikeinheit), unzerlegt



ABS-Modul (Steuergerät, Hydraulikeinheit), zerlegt



Anlassermotor, unzerlegt



Anlassermotor, zerlegt