Ressortforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3715 33 305 0

„Evaluierung und Fortschreibung der Methodik zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten durch Schredderversuche unter der EG-Altfahrzeug-richtlinie 2000/53/EG“

Endbericht

von

Knut Sander, Lisa Rödig, Lukas Wagner, Dirk Jepsen
Ökopol GmbH

Prof. Dr. Ralf Holzhauer, Lutz Baberg, Thomas Spiecker
mitSystem GmbH, Gelsenkirchen

Dr.-Ing. Bertram Zwisele
ARGUS - Statistik und Informationssysteme in Umwelt und Gesundheit GmbH

Dr. Michael Winterstein
Wessling GmbH

Ökopol GmbH

Nernstweg 32-34

22765 Hamburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Oktober 2018

Berichtskennblatt

Berichtsnummer	UBA-FB 00
Titel des Berichts	Evaluierung und Fortschreibung der Methodik zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten durch Schredderversuche unter der EG-Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG
Autor(en)	Sander, Knut; Rödig, Lisa; Wagner, Lukas; Jepsen, Dirk; Holzhauer, Ralf; Baberg, Lutz; Spiecker, Thomas; Zwisele, Bertram; Winterstein, Michael
Durchführende Institution	Ökopol GmbH Nernstweg 32-34 22765 Hamburg
Fördernde Institution	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Abschlussjahr	2018
Forschungskennzahl (FKZ)	3715 33 305 0
Seitenzahl des Berichts	458
Zusätzliche Angaben	
Schlagwörter	Altfahrzeug, Schredderkampagne, Schredder, Demontage, Verwertungsquote, Monitoring, hochwertige Verwertung

Report Cover Sheet

Report No.	UBA-FB 00
Report Title	Evaluation and updating of the methodology for the determination of the ELV recovery rates by shredder trials under the EC End-of-Life Vehicles Directive 2000/53/EC
Author(s)	Sander, Knut; Rödig, Lisa; Wagner, Lukas; Jepsen, Dirk; Holzhauer, Ralf; Baberg, Lutz; Spiecker, Thomas; Zwisele, Bertram; Winterstein, Michael
Performing Organisation	Ökopol GmbH Nernstweg 32-34 22765 Hamburg
Funding Agency	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Report Date (Year)	2018
Project No. (FKZ)	3715 33 305 0
No. of Pages	458
Supplementary Notes	
Keywords	End-of-life vehicle, shredder campaign, shredder, dismantling, recycling rate, monitoring, high-quality recycling

Kurzbeschreibung

Für die Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten nach der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG in Deutschland wurde Anfang der 2000er Jahre eine Methodik entwickelt. Sie basiert auf einer Erhebung der Input- und Outputströme der Altfahrzeug-Demontagebetriebe sowie der Altfahrzeug-behandelnden Schredderbetriebe im Rahmen der Abfallstatistik nach Umweltstatistikgesetz. Seit nunmehr 10 Jahren werden die Verwertungsquoten für Altfahrzeuge mit unveränderter Methodik ermittelt.

Ziel des Vorhabens war es vor diesem Hintergrund, die Methodik und Datengrundlagen für das Monitoring der Altfahrzeugverwertungsquoten auf nationaler Ebene zu aktualisieren und die Datenqualität zu verbessern. Zudem wurde die **Hochwertigkeit der Verwertung** sowie die Ressourceneffizienz der Altfahrzeugverwertung analysiert und Verbesserungspotenziale dargestellt.

2016 wurde ein Altfahrzeugverwertungs- und –schredderversuch mit 425 Altfahrzeugen in drei Demontagebetrieben und 2 Schredderanlagen durchgeführt. Das durchschnittliche gewogene Altfahrzeuggewicht betrug 1.028 kg (inklusive Treibstoff) bzw. 1.012 kg (ohne Treibstoff). Der durchschnittliche Metallgehalt der Altfahrzeuge lag zwischen 71,2 % und 76,6 %. 32 % des nicht-metallischen Schredderoutput wurden stofflich und 60 % energetisch verwertet. Für die Fortschreibung des Quotenmonitorings wurde eine Metallverwertungsquote von 99 % ermittelt. 22,5 % des Restkarossengewichts fallen als nichtmetallische Schredderrückstände an. Zur Stärkung der Hochwertigkeit der Altfahrzeugverwertung wurden insbesondere weiterführende Anforderungen an die Separation von Wertstoffen empfohlen

Abstract

At the beginning of the 2000s, a methodology was developed to determine the recovery rates for end-of-life vehicles according to the End-of-Life Vehicles Directive 2000/53/EC in Germany. It is based on a survey of the input and output flows of the end-of-life vehicle dismantling companies and the shredder companies treating end-of-life vehicles within the framework of waste statistics in accordance with the Environmental Statistics Act. For 10 years now, the recovery rates for end-of-life vehicles have been determined with unchanged methodology.

Against this background, the aim of the project was to update the methodology and data bases for monitoring end-of-life vehicle recovery rates at national level and to improve data quality. In addition, the high quality of recovery and the resource efficiency of end-of-life vehicle recovery were analysed and potential for improvement presented.

In 2016, an end-of-life vehicle recovery and shredding trial was carried out with 425 end-of-life vehicles in three dismantling plants and 2 shredding plants. The average weighted end-of-life vehicle weight was 1,028 kg (including fuel) of 1,012 kg (excluding fuel). The average metal content of the end of life vehicle was between 71.2 % and 76 %. A metal yield of 99 % was determined for the continuation of quota monitoring. 22.5 % of the residual body weight have been non-metallic shredder residues. In order to strengthen the high quality of end-of-life vehicle recovery, further requirements for the separation of valuable materials were recommended.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 15
Tabellenverzeichnis 21
Abkürzungsverzeichnis 32
Definitionsverzeichnis 35
Zusammenfassung 36
Summary 55
1 Hintergrund und Aufgabenstellung 75
2 Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne 77
2.1 Einführung 77
2.2 Aufgabenstellung und Vorgehen 77
2.3 Untersuchungsbedarf (Hauptfragestellungen) der Altfahrzeug- und Schredderkampagne 77
2.4 Überblick der beteiligten Unternehmen 78
2.5 Recherche zu bisherigen Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagnen und Methodiken 79
2.5.1 Literaturrecherche zu Schredderkampagnen 79
2.5.2 Expertenbefragung 86
2.5.2.1 Allgemeines 86
2.5.2.2 Demontage 86
2.5.2.3 Schredder 86
2.5.3 Leitfaden der EU-Kommission zu Altfahrzeug-Schredderkampagnen 87
2.5.4 Schlussfolgerungen der Recherchen für die eigene Schredderkampagne 87
2.6 Organisation, Ausgestaltung und Untersuchungsrahmen der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne 88
2.7 Statistische Planung der Untersuchung – Stichprobenkonzept für die Auswahl der Anlagen und Altfahrzeuge/Restkarossen 89
2.7.1 Methodische und statistische Grundlagen und Ansatz der Stichprobenauswahl 90
2.7.2 Schichtenbildung 90
2.7.2.1 Kriterien für die Schichtung der Stichprobe der Altfahrzeugverwertungsanlagen 90
2.7.2.2 Kriterien für die Schichtung der Altfahrzeuge/ Restkarossen 91
2.7.3 Schichtung der Stichproben unter Berücksichtigung praktischer Restriktionen 92
2.7.4 Voruntersuchungen zur Vorbereitung der geschichteten mehrstufigen Stichprobe 93
2.7.5 Mehrstufige geschichtete Zufallsauswahl 95
2.7.6 Ermittlung des notwendigen Stichprobenumfanges 98

2.7.6.1 Berechnung des Stichprobenumfangs der Altfahrzeuge/ Restkarossen 99
2.7.6.2 Ableitung des vorläufigen Stichprobenumfangs aus den Varianzen der Outputströme aus der Literatur 103
2.7.7 Ermittlung des in der Untersuchung verwendeten Stichprobenumfanges an den Demontageanlagen 106
2.7.7.1 Vorgehen 106
2.7.7.2 Endgültiger Stichprobenumfang 108
2.7.8 Verteilung des in der Untersuchung verwendeten Stichprobenumfangs auf die Schichten 108
2.7.9 Zusammenfassung Stichprobenumfang der Altfahrzeuge und Aufteilung auf die Schichten 110
2.8 Versuchsablauf 113
2.8.1 Beschreibung der Betriebe und Anlagen 113
2.8.1.1 Demontagebetrieb der LRP-Autorecycling GmbH 113
2.8.1.2 Demontagebetrieb der SMK Autoverwertung GmbH 113
2.8.1.3 Demontagebetrieb Autoservice Raik Melle 113
2.8.1.4 Schredderanlage der Scholz-Gruppe in Espenhain 113
2.8.1.5 Schredderanlage der TSR-Gruppe in Brandenburg/Havel 113
2.8.2 Informationsveranstaltung für einbezogene Betriebe 114
2.8.3 Versuchsablaufs- und Probennahmekonzept 114
2.8.3.1 Demontagebetriebe 114
2.8.3.2 Schredderanlage 114
2.8.4 Zeitplan 114
2.8.5 Vorlagen für Versuchsprotokolle 115
2.8.6 Demontageversuche 116
2.8.7 Schredderversuche 117
2.8.7.1 Durchführung der Versuche 119
2.8.7.2 Durchführung der Probennahme 121
2.9 Ergebnisse der Kampagne 125
2.9.1 Durchschnittsalter der Altfahrzeuge 125
2.9.2 Demontage 125
2.9.2.1 Input-/quotenrelevante Outputströme Demontagebetriebe 125
2.9.2.2 Aufteilung in Metall- und Nichtmetallanteil 129
2.9.2.3 Art der Erfassung des Ersatzteilverkaufs im statistischen Erhebungsbogen 130
2.9.3 Schredder 131
2.9.3.1 Input-/Outputströme Schredderanlage 131
2.9.3.2 Metallgehalt der Restkarossen 134

2.9.3.3 Anteil der Schredderleichtfraktion bzw. nichtmetallischen Outputs der Schredderanlagen 136
2.9.3.4 Abfallschlüssel der Fraktionen der Schredderleichtfraktionen 137
2.9.4 Input-/Outputbilanz 137
2.10 Hochrechnung der Ergebnisse aus den Verwertungs- und Schredder-Versuchen 140
2.10.1 Methodik 140
2.10.2 Sensitivitätsanalyse 142
2.10.3 Ergebnisse 142
2.11 Qualität der Untersuchungsergebnisse der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagnen 145
2.11.1 Zielstellung und Methoden 145
2.11.2 Operative Fehlerquellen 145
2.11.3 Probennahme und Analytik 147
2.12 Ergebnisse der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagnen und deren statistische Genauigkeit und Sicherheit 149
2.12.1 Genauigkeit und Sicherheit der Ergebnisse 156
2.12.2 Repräsentativität 157
2.12.3 Vergleich mit anderen Schredderkampagnen 160
2.12.4 Vergleich der Anlagentypen 161
2.12.5 Zusammenfassung und Bewertung 161
3 Schad- und Wertstoffanalysen 163
3.1 Einleitung und Zielstellung 163
3.2 Untersuchungsumfang 163
3.3 Probennahme und Untersuchungs- und Analysenmethoden 165
3.3.1 Probenahmen Firma 1 165
3.3.2 Probenahmen Firma 2 166
3.3.3 VA-Schrott 166
3.3.4 Optische Bestimmungen 166
3.3.5 Methode der analytischen Untersuchungen 166
3.4 Untersuchung Stahlschrott (Probe 1) 167
3.4.1 Stahlschrott Firma 1 168
3.4.1.1 RFA-Untersuchungen Stahlschrott Firma 1 168
3.4.1.2 ICP-OES-Untersuchungen Stahlschrott Firma 1 174
3.4.1.3 Sonderuntersuchung des an den Stahlteilen anhaftenden Staubes 176
3.4.2 Stahlschrott der Firma 2 179
3.4.2.1 RFA-Untersuchungen Stahlschrott Firma 2 179
3.4.2.2 ICP-OES-Untersuchungen Stahlschrott der Firma 2 181

3.4.3 Fazit der Untersuchung des Stahlschrotts 183
3.4.4 Einschätzung der Schrotte in Bezug auf Abfallendeeigenschaften 184
3.5 Untersuchung Metallmischfraktion (Probe 2) 185
3.5.1 Metallmischfraktion der Firma 1 185
3.5.1.1 Fraktionierung Metallmischfraktion Firma 1 185
3.5.1.2 ICP-OES-Untersuchungen und RFA-Untersuchungen der Metallmischfraktion Firma 1 188
3.5.2 Metallmischfraktion der Firma 2 190
3.5.2.1 Fraktionierung Metallmischfraktion Firma 2 190
3.5.2.2 ICP-OES-Untersuchungen und RFA-Untersuchungen der Metallmischfraktion Firma 2 192
3.6 Untersuchungen VA-Schrott 194
3.6.1 VA-Teile der Firma 1 194
3.6.2 VA-Teile der Firma 2 195
3.7 Untersuchungen Schredderschwerfraktion (Probe 3) 197
3.7.1 SSF Firma 1 197
3.7.1.1 Anteilsermittlung und Korngrößenverteilung 197
3.7.1.2 Chemische Untersuchungen 202
3.7.1.3 Repräsentativitätstests für die Analysenergebnisse zu SSF (Probe 3) Firma 1 205
3.7.1.4 Ergebnisse des Repräsentativitätstests SSF (Probe 3) der Firma 1 208
3.7.2 SSF Firma 2 209
3.7.2.1 Anteilermittlung und Korngrößenverteilung 209
3.7.2.2 Chemische Untersuchungen und Ergebnisse SSF (Probe 3) der Firma 2 214
3.7.2.3 Ergebnisse des Repräsentativitätstest SSF (Probe 3) Firma 2 218
3.7.3 Fazit SSF 219
3.8 Untersuchungen Schredderleichtfraktion (Probe 4) 220
3.8.1 Probenvorbereitung und Vorgehen SLF 220
3.8.2 SLF (Probe 4) Firma 1 223
3.8.2.1 Anteilermittlung und Korngrößenverteilung 223
3.8.2.2 Chemische Untersuchungen und Ergebnisse SLF (Probe 4) der Firma 1 226
3.8.2.3 Ergebnisse des Repräsentativitätstest SLF Firma 1 229
3.8.3 SLF (Probe 4) Firma 2 230
3.8.3.1 Anteilermittlung und Korngrößenverteilung 230
3.8.3.2 Chemische Untersuchungen und Ergebnisse SLF (Probe 4) der Firma 2 232
3.8.3.3 Ergebnisse des Repräsentativitätstest SLF (Probe 4) Firma 2 235
3.8.4 Fazit SLF 236
3.9 Untersuchungen zu organischen Schadstoffen in SSF und SLF 237

3.10 Optische Bestimmungen 245
3.10.1 Optische Bestimmungen bei der Firma 1 245
3.10.2 Optische Bestimmungen bei der Firma 2 249
3.11 Einschätzungen von Probenahme und Analytik inkl. Fehlerbetrachtungen 250
3.11.1 Stahlschrott (Probe 1) und VA-Stahl 251
3.11.2 Anhaftungen Stahlschrott 251
3.11.3 Mischmetalle (Probe 2) 251
3.11.4 SSF (Probe 3) und SLF (Probe 4) 252
3.11.4.1 SSF (Probe 3) 252
3.11.4.2 SLF (Probe 4) 253
4 Fortschreibung der Grunddaten und der Methodik des Altfahrzeug-Quotenmonitorings 254
4.1 Bisherige Methodik zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten für Deutschland und Ziel der Fortschreibung 254
4.2 Ziele der Fortschreibung des Quotenmonitorings 255
4.3 Fortschreibung der Grunddaten 256
4.3.1 Durchschnittsalter der Altfahrzeuge 256
4.3.1.1 Hintergrund 256
4.3.1.2 Ausgangslage 257
4.3.1.3 Aktualisierung der Information zum Durchschnittsalter der Altfahrzeuge in Deutschland 258
4.3.1.4 Empfehlung 260
4.3.2 Eingangsgewicht der Altfahrzeuge beim Demontagebetrieb 261
4.3.2.1 Hintergrund 261
4.3.2.2 Ausgangslage 261
4.3.2.3 Rechtliche Grundlage: Definition des Altfahrzeug-Leergewichts 262
4.3.2.4 Datenrecherchen zum durchschnittlichen Altfahrzeuggewicht 263
4.3.2.5 Fahrzeuggewichte in der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne 263
4.3.2.6 Empfehlungen 269
4.3.3 Outputfraktionen: Demontage 269
4.3.3.1 Aus dem Altfahrzeug stammende Outputfraktionen und ihre Abfallschlüsselnummern 270
4.3.3.2 Entfrachtung 272
4.3.3.3 Separation Wertstoffe 276
4.3.3.4 Fazit zum Bereich schadstoffhaltige Komponenten und Wertstoffe 281
4.3.3.5 Ersatzteile 282
4.3.3.6 Restkarossen 282
4.3.3.7 Empfehlungen 283

4.3.4 Metallanteile sowie stoffliche und energetische Verwertungsanteile 292
4.3.4.1 Batterien 292
4.3.4.2 Betriebsstoffe (ausgenommen Kraftstoff) 294
4.3.4.3 Andere Betriebsflüssigkeiten 296
4.3.4.4 Explosive Bauteile (z. B. Airbags) 297
4.3.4.5 Gefährliche Bauteile 297
4.3.4.6 Bremsbeläge 298
4.3.4.7 Andere bei der Demontage anfallende Werkstoffe 298
4.3.4.8 Katalysatoren 299
4.3.4.9 Metalle 299
4.3.4.10 Kabel 301
4.3.4.11 Reifen 302
4.3.4.12 Kunststoffteile 302
4.3.4.13 Glas 302
4.3.4.14 Andere bei der Demontage anfallende Outputfraktionen 303
4.3.4.15 Gebrauchte Geräte 303
4.3.4.16 Restkarossen aus Demontageanlagen 303
4.3.4.17 Empfehlungen 305
4.3.5 Outputfraktionen: Schredder 310
4.3.5.1 Relevanz des Schredderoutputs für die Quotenbestimmung und derzeitige Praxis 310
4.3.5.2 ASN der Outputfraktionen 311
4.3.5.3 Vielfalt der nichtmetallischen Schredder-Outputfraktionen 312
4.3.5.4 Anteil der nichtmetallischen Schredderrückstände 315
4.3.5.5 Benennung und Quantifizierung der stofflich und energetisch verwerteten Anteile der Outputströme aus Schredderanlagen 315
4.3.5.6 Empfehlungen 317
4.3.6 Höhe des verwerteten Anteils des Metallgehalts von Altfahrzeugen 318
4.3.6.1 Einführung zum Thema und bisherige Praxis 318
4.3.6.2 Rückrechnung des Metallgehalts der Altfahrzeuge 318
4.3.6.3 Aktualisierung der Annahme von 97 % als verwerteter Anteil des Metallgehalts 319
4.3.7 Restkarossenbilanz: Masse und Anzahl der Altfahrzeuge und Restkarossen 320
4.3.7.1 Status quo 320
4.3.7.2 Empfehlungen 325
4.3.8 Verwertungsanteile ausgeführter Restkarossen 325
4.3.8.1 Status quo - Bisher genutzte Annahme zu den Verwertungsquoten der im Ausland entsorgten Restkarossen 325

4.3.8.2 Aktualisierung der Annahme zur Verwertung der Restkarossen im Ausland 326
4.3.8.3 Empfehlungen 328
4.4 Änderung der Monitoring-Methodik 328
5 Hochwertigkeit der Altfahrzeugverwertung 330
5.1 Metallmassenströme der Altfahrzeugbehandlung 331
5.2 Praktizierte Verbleibswege 338
5.2.1 Informationen des Statistischen Bundesamts 338
5.3 Verbleibspfade der Outputfraktionen aus der Demontage 339
5.3.1 Verbleibswege der Outputfraktionen der beteiligten Demontagebetriebe 339
5.3.2 Datenerhebung bei weiteren Altfahrzeug-Demontagebetrieben 341
5.3.3 Verbleibspfade der Outputfraktionen aus dem Schredder 344
5.4 Bewertung der Hochwertigkeit der Verwertungspraxis der in den Schredderoutputfraktionen enthaltenen Wertstoffe 346
5.4.1 Vorgehen 346
5.4.2 Wertstoffe in Altfahrzeugen 346
5.4.2.1 Wertstoffe in den Outputfraktionen aus dem Schredder 351
5.4.2.2 Fe-Fraktion 358
5.4.2.3 Schredderschwerfraktion 358
5.4.2.4 Schredderleichtfraktion 361
5.4.3 Ansatz zur Bewertung der Hochwertigkeit der Verwertung der Schredderoutputfraktionen 363
5.4.3.1 Bewertung aus rechtlicher Perspektive 364
5.4.3.2 Bewertung aus der Input/Output Perspektive 366
5.4.3.3 Bewertung der Hochwertigkeit auf Basis der Reinheit der Fraktionen und ihrer Sekundärnutzung 368
5.5 Ökologische Relevanz der enthaltenen Wertstoffe 376
5.6 Defizite der aktuellen Verwertungspraxis 377
5.7 Ansätze zur Optimierung der aktuellen Verwertungspraxis 379
5.7.1 Operationalisierung einer „hochwertigen Verwertung“ 379
5.7.2 Weiterführende Anforderungen an die Demontage 380
5.7.2.1 Kupferhaltige Komponenten 380
5.7.2.2 Elektronische Komponenten 381
5.7.2.3 Kunststoffe 382
5.7.2.4 Prüfung der Ausnahmegenehmigungen für Demontagepflichten gemäß Anhang AltfahrzeugV Nr. 5 382
5.7.2.5 Separationspflicht für Aluminiumknetlegierungen 383
5.7.2.6 Begrenzung des Metallgehalts derjenigen Fraktionen, die in die Verfüllung gehen, energetisch verwertet oder beseitigt werden 383

6 Quellenverzeichnis 385
7 Anhang 393
7.1 Anhang A - Fragebogen für Demontagebetriebe 393
7.2 Anhang B - Fragebogen für Schredderbetriebe 404
7.3 Anhang C - Handlungsanleitung für Demontagebetrieb 1 Schredderanlage 1 418
7.4 Anhang D - Handlungsanleitung für Demontagebetriebe 2 und 3 Schredderanlage 2 421
7.5 Anhang E - Handlungsanleitung Schredderversuch Schredderanlage 1 424
7.5.1 Ziel und Aufgabe 424
7.5.2 Erhebung von Kennzahlen 424
7.5.3 Schreddern 424
7.5.3.1 Zusammenfassung 424
7.5.3.2 Probennahme und Analyse 424
7.5.3.3 Dokumentation des Schredderversuchs 425
7.5.4 Entwicklung des Probennahmekonzepts 425
7.5.4.1 Einleitung und Zielstellung 425
7.5.4.2 Vorgesehener Untersuchungsumfang 425
7.5.5 Beschreibung der Probennahmestellen und der Probenmatrix 426
7.5.5.1 Schredderanlage 1 426
7.5.5.2 Probennahmestellen für die optische Bestimmung bei Schredderanlage 1 430
7.5.6 Konzept und Probennahmeplan für die Beprobung 430
7.5.6.1 LAGA PN98 430
7.5.6.2 E DIN 19698 Teil 2 432
7.5.7 Probennahmeplan 432
7.5.8 Parameter für die Untersuchung 435
7.6 Anhang F - Handlungsanleitung Schredderversuch Schredderanlage 2 436
7.6.1 Ziel und Aufgabe 436
7.6.2 Erhebung von Kennzahlen 436
7.6.3 Schreddern 436
7.6.3.1 Zusammenfassung 436
7.6.3.2 Probennahme und Analyse 436
7.6.3.3 Dokumentation des Schredderversuchs 437
7.6.3.4 Datenerfassung 437
7.6.3.5 Outputfraktionen 437
7.6.4 Entwicklung des Probennahmekonzepts 438
7.6.4.1 Einleitung und Zielstellung 438

7.6.4.2 Vorgesehener Untersuchungsumfang 438
7.6.5 Beschreibung der Probennahmestellen und der Probenmatrix in der Schredderanlage Schredderanlage 2 439
7.6.6 Konzept und Probennahmeplan für die Beprobung 443
7.6.6.1 LAGA PN98 443
7.6.6.2 E DIN 19698 Teil 2 445
7.6.7 Probennahmeplan 445
7.6.8 Parameter für die Untersuchung 449
7.7 Anhang G - Rechnerische Zusammenstellung der in der Fe-Fraktion enthaltenen Elemente 450
7.8 Anhang Probenummern 453
7.9 Anhang Herleitung der Formel zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfanges aus der Gleichung des Leitfadens der Europäischen Kommission 454
7.10 Anhang Ergebnis der Schredder Kampagnen aus der Literaturrecherche sowie daraus abgeleitete Varianzen - Zusammenfassung 455
7.11 Ergebnis der Schredderkampagnen aus der Literaturrecherche sowie daraus abgeleitete Varianzen – Zusammenfassung normiert 458

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Massenbilanz unter Berücksichtigung der Demontageleistung; Metall – Nichtmetall 39

Abbildung 2: Massebilanz unter Berücksichtigung der Demontageleistung, Verbleibszweck 40

Abbildung 3: Vereinfachtes Schema Probenahmestellen im Schredderprozess und Analytik 42

Abbildung 4: Verteilung der identifizierten Elementemassen auf die Outputströme der Schredder 49

Abbildung 5: Ungefähre Massenanteile metallischer Wertstoffe in Fahrzeugen an der Weltproduktion 51

Abbildung 6: GWP verschiedener Materialien je PKW 52

Abbildung 7: GWP verschiedener Materialien je PKW und Bewertung möglicher Schwachstellen in Bezug auf die Hochwertigkeit der Verwertung 53

Abbildung 8: Übersicht Projektstruktur und Projektteam 76

Abbildung 9: Beteiligte Unternehmen 79

Abbildung 10: Vorgehensweise und Ablauf der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne 88

Abbildung 11: Ablauf der Altfahrzeugverwertung und Systemgrenzen für die Altfahrzeugverwertungs-/Schredderkampagne 89

Abbildung 12: Verteilung der Stichprobenanzahlen im mehrstufigen Konzept 98

Abbildung 13: Auszug aus dem Versuchsprotokoll Demontagebetrieb 116

Abbildung 14: Auszug aus dem Versuchsprotokoll einer Schredderanlage 116

Abbildung 15: Angesammelte Menge von Restkarossen vor dem Schredderversuch, links Schredderanlage 2, rechts Schredderanlage 1 120

Abbildung 16: Eingang Schredder während des Versuches, links Schredderanlage 2, rechts Schredderanlage 1 120

Abbildung 17: Schredderleichtfraktion, links Schredderanlage 2, rechts Schredderanlage 1 121

Abbildung 18: Links: Schredderanlage 2, aufbereitete Fraktionen der Schredderschwerfraktion, rechts: Probennahmeort Schredderanlage 2, Stahlprodukt (Sorte 4) 121

Abbildung 19: Links: Radlader bei Einzelprobenentnahme aus Fallstrom Stahlprodukt Schredderanlage 1; rechts: Radladerschaufel mit Einzelprobe Stahlprodukt Schredderanlage 1 122

Abbildung 20: Links: Stahlprodukt Erstellung Laborproben; rechts: Metallmischfraktion nach Handklaubung Probe 2 Schredderanlage 1 122

Abbildung 21: Links: Probenentnahme Fallstrom SLF Schredderanlage 2; rechts: Mischproben SLF Schredderanlage 2 124
Abbildung 22: Verjüngung Mischprobe SLF Schredderanlage 1 124
Abbildung 23: Links SSF endabgelagert Schredderanlage 1; rechts Verjüngung Mischprobe SSF < 2 mm Schredderanlage 1 125
Abbildung 24: Massebilanz unter Berücksichtigung der Demontageleistung; Metall – Nichtmetall 138
Abbildung 25: Massebilanz unter Berücksichtigung der Demontageleistung, Verbleibszweck 139
Abbildung 26: Verwiegung während der Schredderkampagne 146
Abbildung 27: Vereinfachtes Schema Probenahmestellen im Schredderprozess und Analytik 163
Abbildung 28: Beispiel für die drei Teilproben vom Stahlschrott 167
Abbildung 29: Messung eines Stahlteils mit mobiler RFA 168
Abbildung 30: Foto der drei untersuchten Proben des Stahlschrottes mittels RFA und ICP-OES der Firma 1 174
Abbildung 31: Filterrückstand der Abwaschlösung mit den Anhaftungen an den Stahlteilen der Probe 1.3 176
Abbildung 32: Vergrößerung des Filterrückstandes der Abwaschlösung mit den Anhaftungen an den Stahlteilen der Probe 1.3 177
Abbildung 33: Stahlschrott Firma 2 179
Abbildung 34: Abbildung der drei untersuchten Proben des Stahlschrottes mittels RFA und ICP-OES der Firma 2 182
Abbildung 35: Fraktion Stahlschrott aus der Metallmischfraktion der Firma 1 186
Abbildung 36: Fraktion Kupfer und Stahl aus der Metallmischfraktion der Firma 1 187
Abbildung 37: Fraktion Kupferkabel/Gummi/Textilien aus der Metallmischfraktion der Firma 1 187
Abbildung 38: Leiterplatte aus der Metallmischfraktion der Firma 1 188
Abbildung 39: Foto des untersuchten Teils (Stange ausgewählt) 189
Abbildung 40: Stahlfraktion aus der Metallmischfraktion der Firma 2 191
Abbildung 41: Kupferfraktion aus der Metallmischfraktion der Firma 2 192
Abbildung 42: Fraktion Gummi/Kabel/Reste aus der Metallmischfraktion Firma 2 192
Abbildung 43: Teile für RFA und ICP-OES-Messung 193
Abbildung 44: Untersuchte VA-Teile der Firma 1 195
Abbildung 45: Untersuchte VA Teile der Firma 2 197
Abbildung 46: SSF (Probe 3) Firma 1 Fraktion > 2 mm gesiebt 198
Abbildung 47: SSF (Probe 3) Firma 1 Fraktion > 1 mm und bis 2 mm gesiebt 199
Abbildung 48: SSF (Probe 3) Firma 1 Fraktion 0,5 bis 1 mm gesiebt 199

Abbildung 49: SSF (Probe 3) Firma 1 Fraktion < 0,5 mm gesiebt....200
Abbildung 50: Materialzusammensetzung SSF (Korngröße < 2 mm) (Probe 3) Firma 1 201
Abbildung 51: Korngrößenanteil der SSF (Probe 3) der Firma 1....202
Abbildung 52: Verteilung der Materialfraktionen SSF (Probe 3) der Firma 1 auf die Korngrößen....202
Abbildung 53: Beispiel einer Auswertung des Repräsentativitätstests SSF 1 (Probe 3) (Silber)....207
Abbildung 54: SSF (Probe 3) Firma 2 Fraktion > 10 mm 210
Abbildung 55: SSF (Probe 3) Firma 2 Fraktion > 5 mm bis 10 mm....210
Abbildung 56: SSF (Probe 3) Firma 2 Fraktion > 2 mm bis 5 mm....211
Abbildung 57: SSF (Probe 3) Firma 2 Fraktion bis 2 mm....211
Abbildung 58: SSF (Probe 3) Firma 2 ausgelesenen Kupferfraktion > 10 mm 212
Abbildung 59: Materialzusammensetzung SSF (Korngröße < 18 mm) (Probe 3) der Firma 2 213
Abbildung 60: Korngrößenverteilung der Gesamtfraktion SSF (Probe 3) der Firma 2 214
Abbildung 61: Verteilung der Materialfraktionen SSF (Probe 3) der Firma 2 auf die Korngrößen....214
Abbildung 62: Vergleich der Mittelwerte der Elemente höherer Konzentration in der SSF beider Firmen 219
Abbildung 63: Vergleich der Mittelwerte der Elemente geringer Konzentration in der SSF beider Firmen, in mg/kg....220
Abbildung 64: Fraktion Aluminium, ausgelesen aus der SLF (Probe 4) der Firma 1 221
Abbildung 65: Ausgelesenes Sonstiges (Kupferdrähte) aus SLF (Probe 4) > 90 mm der Firma 1....222
Abbildung 66: Ausgelesenes Glas und Mineralik aus SLF (Probe 4) > 5 mm bis 10 mm der Firma 1....222
Abbildung 67: Ausgelesenes Glas und Mineralik aus SLF (Probe 4) > 2 mm bis 5 mm der Firma 1....223
Abbildung 68: Laborprobe SLF (Probe 4) für die chemische Analytik nach Zerkleinerung auf < 0,5 mm der Firma 1 223
Abbildung 69: Materialzusammensetzung der SLF (Probe 4) Firma 1 aus der Sortieranalyse 224
Abbildung 70: Korngrößenanteile der Gesamtfraktion SLF (Probe 4) der Firma 1..225
Abbildung 71: Verteilung der Materialfraktionen SLF (Probe 4) der Firma 1 auf die Korngrößen....225
Abbildung 72: Materialzusammensetzung der SLF Firma 2....231
Abbildung 73: Korngrößenanteile der Gesamtfraktion SLF (Probe 4) der Firma 2..232

Abbildung 74: Verteilung der Materialfraktionen SLF (Probe 4) der Firma 2 auf die Korngrößen 232

Abbildung 75: Vergleich der Mittelwerte Elemente höherer Konzentration SLF der Firma 1 und der Firma 2 236

Abbildung 76: Vergleich der Mittelwerte Elemente geringer Konzentration SLF der Firma 1 und der Firma 2, in mg/kg 236

Abbildung 77: Konzentrationen organischer Schadstoffe in der SLF und SSF (Angaben in mg/kg) 245

Abbildung 78: Beispiel Protokoll optische Bestimmung 250

Abbildung 79: Überblick: Ablauf des Monitorings zur Ermittlung der Altfahrzeug-Verwertungsquoten für Deutschland 254

Abbildung 80: Fahrzeugflotte und Durchschnittsalter von Altfahrzeugen 257

Abbildung 81: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern in den Jahren 2007 bis 2016 nach ausgewählten - Fahrzeugklassen mit dem Durchschnittsalter der Fahrzeuge in Jahren 258

Abbildung 82: Histogramm der Altfahrzeugaltersverteilung 259

Abbildung 83: Empirische kumulative Verteilung der Altfahrzeugaltersverteilung (Altersangaben in Jahren) 260

Abbildung 84: Anzahl der Altfahrzeuge, Gesamtmasse und durchschnittliche Masse der Altfahrzeuge seit 2009 in Deutschland 261

Abbildung 85: Vergleich des Briefgewichtes nach StVZO und der Berechnung des Fahrzeugleergewichtes nach AltfahrzeugV 263

Abbildung 86: Box plot - gewogenes Gewicht von Altfahrzeugen am Eingang Demontagebetriebe 264

Abbildung 87: Box plot zum Fahrzeugleergewicht laut Fahrzeugbrief (korrigiert nach AltfahrzeugV) 265

Abbildung 88: Box plot des Verhältnisses Leergewicht gewogen / Leergewicht Brief korrigiert nach AltfahrzeugV 266

Abbildung 89: Box plot des Verhältnisses Leergewicht gewogen - nur vollständige Altfahrzeuge / Leergewicht Brief korrigiert nach AltfahrzeugV 267

Abbildung 90: Verhältnis gewogenes Eingangsgewicht AFZ zu Fahrzeugbriefgewicht (korrigiert) 268

Abbildung 91: Verhältnis gewogenes Eingangsgewicht AFZ (nur vollständige AFZ) zu Fahrzeugbriefgewicht (korrigiert) 268

Abbildung 92: Anteile der Fraktionen an der SLF bei Schredderbetreiber 1 (in %) 313

Abbildung 93: Anteile der Fraktionen an der SLF bei Schredderbetreiber 2 (in %) 314

Abbildung 94: Skizze des zweistufigen Verwertungsverfahrens von Altfahrzeugen 320

Abbildung 95: Vergleich der Anzahlen zwischen dem Altfahrzeuginput bei Demontagebetrieben, dem Restkarossenoutput bei Demontagebetrieben und dem Restkarosseninput bei Schredderanlagen in den Jahren 2007 bis 2014 322

Abbildung 96: Vergleich von Massenströmen zwischen dem Altfahrzeuginput bei Demontagebetrieben, dem Restkarossenoutput bei Demontagebetrieben und dem Restkarosseninput bei Schredderanlagen in den Jahren 2007 bis 2014 323

Abbildung 97: Vergleich der Durchschnittsgewichte zwischen dem Altfahrzeuginput bei Demontagebetrieben, dem Restkarossenoutput bei Demontagebetrieben und dem Restkarosseninput bei Schredderanlagen in den Jahren 2007 bis 2014 324

Abbildung 98: Altfahrzeuge: Wiederverwendungs-und Recyclingraten verschiedener Mitgliedstaaten 326

Abbildung 99: Altfahrzeuge: Wiederverwendungs-und Verwertungsraten verschiedener Mitgliedstaaten 326

Abbildung 100: Mittelwert der jährlichen Veränderungen im Zeitraum von 2006 bis 2014 bei den Recycling- und Wiederverwendungsraten für Altfahrzeuge verschiedener Mitgliedstaaten 327

Abbildung 101: Mittelwert der jährlichen Veränderungen im Zeitraum von 2006 bis 2014 bei den Verwertungs- und Wiederverwendungsraten für Altfahrzeuge verschiedener Mitgliedstaaten 328

Abbildung 102: Altfahrzeug-Verwertungsquoten Deutschland 2004 bis 2014 (mit Bereinigung) 330

Abbildung 103: Identifizierte Massenströme von Ag in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a) 331

Abbildung 104: Identifizierte Massenströme von Cd in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a) 332

Abbildung 105: Identifizierte Massenströme von Co in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a) 333

Abbildung 106: Identifizierte Massenströme von Cr in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a) 333

Abbildung 107: Identifizierte Massenströme von Nd in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a) 334

Abbildung 108: Identifizierte Massenströme von Ni in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a) 335

Abbildung 109: Identifizierte Massenströme von Pb in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a) 335

Abbildung 110: Identifizierte Massenströme von Sb in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a) 336

Abbildung 111: Identifizierte Massenströme von Zn in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a) 337

Abbildung 112: Ungefähre Massenanteile metallischer Wertstoffe in Fahrzeugen an der Weltproduktion 350

Abbildung 113: Verbleibswege der Schredderoutputfraktionen gemäß Kategorisierung der Entsorgungswege nach KrWG 366

Abbildung 114: Funktionale Rückgewinnungsraten unterschiedlicher Metalle 367

Abbildung 115: Leiterplatten aus Altfahrzeugen nach Schreddern und PST 372
Abbildung 116: Vergleich der relativen Umweltauswirkungen zwischen der Demontage und der Post-Schredder-Separation von Fahrzeugglas (pro t) 374
Abbildung 117: Entwicklung der Kunststoffmassen in PKW 376
Abbildung 118: Spezifisches GWP verschiedener Materialien 376
Abbildung 119: GWP verschiedener Materialien je PKW 377
Abbildung 120: GWP verschiedener Materialien je PKW und Bewertung möglicher Schwachstellen in Bezug auf die Hochwertigkeit der Verwertung ... 378
Abbildung 121: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 1 394
Abbildung 122: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 2 395
Abbildung 123: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 3 396
Abbildung 124: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 4 397
Abbildung 125: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 5 398
Abbildung 126: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 6 399
Abbildung 127: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 7 400
Abbildung 128: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 8 401
Abbildung 129: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 9 402
Abbildung 130: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 10 403
Abbildung 131: Fragebogen Schredderbetriebe-Teil 1 405
Abbildung 132: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 2 406
Abbildung 133: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 3 407
Abbildung 134: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 4 408
Abbildung 135: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 5 409
Abbildung 136: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 6 410
Abbildung 137: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 7 411
Abbildung 138: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 8 412
Abbildung 139: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 9 413
Abbildung 140: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 10 414
Abbildung 141: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 11 415
Abbildung 142: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 12 416
Abbildung 143: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 13 417
Abbildung 144: Vereinfachtes Schema Probennahmestellen im Recycling-Prozess . 425
Abbildung 145: Bezeichnung der Probennahmestellen des Alternativkonzeptes Schredderanlage 1 426
Abbildung 146: Probennahmestelle 1 (Shredderanlage 1) Stahlprodukt 426

Abbildung 147: Aussehen Stahlprodukt an der Probennahmestelle 1 (Schredderanlage 1) 427

Abbildung 148: Probennahmestelle 2 (Schredderanlage 1) Handklaubung mit Öffnung der Abwurfbehälter 427

Abbildung 149: Probennahmestelle Probe 3 (Schredderanlage 1) Schredderschwerfraktion < 2 mm nach Aufbereitung 428

Abbildung 150: Probenmatrix Probe 3 (Schredderanlage 1) Schredderschwerfraktion < 2 mm nach Aufbereitung 428

Abbildung 151: Probennahmestelle Probe 4 (Schredderanlage 1) Schredderleichtfraktion < 180 mm 429

Abbildung 152: Probenmatrix Probe 4 (Schredderanlage 1) SLF < 180 mm 429

Abbildung 153: Vereinfachtes Schema Probennahmestellen im Recycling-Prozess . 439

Abbildung 154: Bezeichnung der Probennahmestellen des Alternativkonzeptes Schredderanlage 2 439

Abbildung 155: Probennahmestelle 1 (Schredderanlage 2) Stahlschrott/Sorte 4..... 440

Abbildung 156: Probennahmestelle 2 (Schredderanlage 2) Cu-Fe nach Handklaubung 440

Abbildung 157: Probenmatrix Probe 3 (Schredderanlage 2) Schredderschwerfraktion nach Aufbereitung 441

Abbildung 158: Beprobungsklappe (Wartungsluke Band SLF Band 2) für Fallstrom der Probennahmestelle Probe 4 (Schredderanlage 2) Schredderleichtfraktion < 180 mm 441

Abbildung 159: Probennahmestelle Probe 4 (Schredderanlage 2) Schredderleichtfraktion < 180 m 442

Abbildung 160: Formeln zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfanges 454

Abbildung 161: Zusammenfassung der Ableitung von Varianzen, Teil Demontage.. 456

Abbildung 162: Zusammenfassung der Ableitung von Varianzen, Teil Schredder 457

Abbildung 163: Formel Ableitung Varianz normiert 458

Abbildung 164: Zusammenfassung der Ableitung von Varianzen normiert, Teil Demontage 459

Abbildung 165: Zusammenfassung der Ableitung von Varianzen normiert, Teil Schredder 460

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gesamtbilanz Aufteilung Metall/Nichtmetall 41

Tabelle 2: Gesamtbilanz Aufteilung Wiederverwendung, Stoffliche Verwertung, Energetische Verwertung, Deponie (Angaben in %) 41

Tabelle 3: Parameterumfang der Analysen 42

Tabelle 4: Überprüfte Grunddaten und Annahmen 46

Tabelle 5: Verteilung der identifizierten Elementemassen auf die Outputströme der Schredder (Angaben in kg/a) 49

Tabelle 6: Hauptfragestellungen der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne 78

Tabelle 7: Literatur zu Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagnen 80

Tabelle 8: Weitere Parameter der Stichprobenmethode der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne; Methode: Mehrstufige geschichtete Zufallsauswahl (mit praktischen Einschränkungen) 93

Tabelle 9: Auswahl der Demontageanlagen und Schredderanlagen 93

Tabelle 10: Zuordnung der Abfallarten zu Abfallschlüsseln und Stoffgruppen (Fahrzeugbauteile/ Komponenten) 94

Tabelle 11: Festlegung der Schichtungskriterien – Anlagenebene 96

Tabelle 12: Festlegung der Schichtungskriterien – Altfahrzeug-/ Restkarossenebene 96

Tabelle 13: Festlegung der Schichten, für die Altfahrzeuge nach Gewichtsklasse bzw. Materialverhältnis Realgewicht zu Briefgewicht, für die Anlage nach Aufbereitungsqualität des Schredderoutputs 97

Tabelle 14: Umfang der Anlagenstichproben (Teil Demontagebetriebe) 99

Tabelle 15: Umfang der Anlagenstichproben (Teil Schredderanlagen) 99

Tabelle 16: Schätzung der Varianzen für die Berechnung des notwendigen Stichprobenumfangs - Variationskoeffizienten ohne Schichtunterscheidung 104

Tabelle 17: Festlegung des notwendigen Stichprobenumfangs Bereich Demontageanlagen (vorläufig) 105

Tabelle 18: Festlegung des notwendigen Stichprobenumfangs Bereich Schredderanlagen (vorläufig) 105

Tabelle 19: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Schicht 1 < 1.000 kg 106

Tabelle 20: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Schicht 2 1.000 – 1.250 kg 107

Tabelle 21: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Schicht 3 > 1.250 kg 107

Tabelle 22: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Schicht 4 Zustandsverändert 107

Tabelle 23: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Schichtung gesamt* 108

Tabelle 24: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Ohne Schichtung 108

Tabelle 25: Gleichungen der Schichtenverteilung 109

Tabelle 26: Verteilung der notwendigen Stichprobe auf die Schichten der Demontagebetriebe Teil 1 Demontagebetrieb 1 / Schredderanlage 1 111

Tabelle 27: Verteilung der notwendigen Stichprobe auf die Schichten der Demontagebetriebe Teil 1 Demontagebetrieb 2 + 3 / Schredderanlage 2 112

Tabelle 28: Zeitplan 115

Tabelle 29: Schichtverteilung Demontagebetrieb 1 117

Tabelle 30: Schichtverteilung Demontagebetrieb 2 und Demontagebetrieb 3 117

Tabelle 31: Schichtverteilung Schredderanlage 1 118

Tabelle 32: Schichtverteilung Schredderanlage 2 118

Tabelle 33: Betriebsinterne Bezeichnungen von Fraktionen aus der Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker (+ metallhaltige Fraktion) 118

Tabelle 34: Betriebsinterne Bezeichnungen von Fraktionen aus der Schredderschwerfraktion (SSF) 118

Tabelle 35: Betriebsinterne Bezeichnungen von Fraktionen aus der Schredderleichtfraktion (SLF) 119

Tabelle 36: Betriebsinterne allgemeine Bezeichnungen 119

Tabelle 37: Durchschnittsalter der Altfahrzeuge 125

Tabelle 38: Inputströme Demontagebetriebe 126

Tabelle 39: Quotenrelevante Outputströme Demontagebetriebe 127

Tabelle 40: Mengenbilanz Eingang und Ausgang der Demontagebetriebe 129

Tabelle 41: Demontagebetriebe, Aufteilung Output, Metall / Nichtmetall in kg/Altfahrzeug 129

Tabelle 42: Aufteilung Ersatz- und Bauteile, metallisch / nicht metallisch (Angaben in kg) 131

Tabelle 43: Schredderanlage 1, Summen Input-/Outputströme beim Versuch mit 210 Restkarossen 131

Tabelle 44: Schredderanlage 1, Differenzierte Outputströme beim Versuch mit 210 Restkarossen 131

Tabelle 45: Schredderanlage 1, Summen Verbleib der Outputströme beim Versuch mit 210 Restkarossen 132

Tabelle 46: Schredderanlage 2, Input-/Outputströme beim Versuch mit 214 Restkarossen 133

Tabelle 47: Schredderanlage 2, Differenzierte Outputströme beim Versuch mit 210 Restkarossen 133

Tabelle 48: Schredderanlage 2, Summen Verbleib der Outputströme beim Versuch mit 214 Restkarossen 134

Tabelle 49: Schredderanlage 1, Output, Metallgehalt 134

Tabelle 50: Schredderanlage 2, Output, Metallgehalt 135

Tabelle 51: Schredderanlage 1, Anteil der drei Output-Hauptfraktionen am Input Restkarossen Schredderanlage....136

Tabelle 52: Schredderanlage 2, Anteil der drei Output-Hauptfraktionen am Input Restkarossen Schredderanlage....136

Tabelle 53: Schredderanlage 1, Verwendete Abfallschlüsselnummern für Schredderleichtfraktion....137

Tabelle 54: Schredderanlage 2, Verwendete Abfallschlüsselnummern für Schredderleichtfraktion....137

Tabelle 55: Gesamtbilanz Aufteilung Metall/Nichtmetall....140

Tabelle 56: Gesamtbilanz Aufteilung Wiederverwendung, Stoffliche Verwertung, Energetische Verwertung, Deponie....140

Tabelle 57: Schichteinteilung nach Altfahrzeuggewichten und Schredderanlagen....141

Tabelle 58: Schichteinteilung nach Altfahrzeuggewichten und Schredderanlagen....141

Tabelle 59: Elemente der Abweichungssimulation....142

Tabelle 60: Hochrechnung Demontage (Angaben in t)....142

Tabelle 61: Hochrechnung Schredder (Angaben in t)....143

Tabelle 62: Hochrechnung Demontage Metall/Nicht-Metall (Angaben in t)....143

Tabelle 63: Hochrechnung Demontage und Schredder (Angaben in t)....143

Tabelle 64: Variationskoeffizienten einzelner Stoffströme zwischen Anlagen und Altfahrzeugen für Demontage und Schredder - Variationskoeffizienten ohne Schichtunterscheidung....150

Tabelle 65: Stoffbilanz und Varianzbestimmung des Schredderversuches Demontagebetrieb 1 n=211 (A^4)....152

Tabelle 66: Stoffbilanz und Varianzbestimmung des Schredderversuches Demontagebetrieb 2 +3 n=214 (A^4)....152

Tabelle 67: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Demontagebetriebe - Konfidenzintervall (A^4)....153

Tabelle 68: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Schredderanlage 1 n=210 (B^5)....153

Tabelle 69: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Schredderanlage 2 n=214 (B^5)....154

Tabelle 70: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Schredderanlagen - Konfidenzintervall (B^5)....154

Tabelle 71: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Demontage 1 +Schredderbetrieb 1 (C)....155

Tabelle 72: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Demontage 2/3 + Schredderbetrieb 2 (C)....155

Tabelle 73: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Bereich Konfidenzintervall (C)....156

Tabelle 74: Vergleich der realisierten Stichprobenanzahlen nach Hersteller-/ Markenstruktur 158

Tabelle 75: Vergleich der realisierten Stichprobenanzahlen nach Altersstruktur 159

Tabelle 76: Vergleich Schredder-Output "Stahlschrott" mit Literaturquellen 160

Tabelle 77: Untersuchungsumfang Stahlschrott und /Metallmischfraktion nach Handklaubung 164

Tabelle 78: Untersuchungsumfang Schredderleicht- und Schredderschwerfraktion 164

Tabelle 79: Übersicht über die verwendeten Laborverfahren 167

Tabelle 80: Aggregierte Zusammensetzung der Bestandteile der Probe 1 Firma 1 168

Tabelle 81: Zusammensetzung der Fraktionen und Massen des Stahlschrottes (Probe 1) der Firma 1 für die drei entnommenen Teilproben (Angaben in kg) 169

Tabelle 82: Mittels RFA-Messung ermittelte Legierungen/Legierungsbestandteile von Stahlschrottteilen der Probe 1.1 der Firma 1 (Angaben in %) ... 170

Tabelle 83: Mittels RFA-Messung ermittelte Legierungen/Legierungsbestandteile von Stahlschrottteilen der Probe 1.2 der Firma 1 (Angaben in %) ... 171

Tabelle 84: Mittels RFA-Messung ermittelte Legierungen/Legierungsbestandteile von Stahlschrottteilen der Probe 1.3 der Firma 1 172

Tabelle 85: Legierungsidentifizierung der Proben für Paralleluntersuchung RFA-ICP der Firma 1 (Angaben in %) 174

Tabelle 86: Ergebnisse der Messung mittels ICP-OES am Stahlschrott der Firma 1 (Angaben in mg/kg) 175

Tabelle 87: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Chrom (Firma 1) (Angaben in %) 175

Tabelle 88: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Mangan (Firma 1) (Angaben in %) 175

Tabelle 89: Elementzusammensetzung der Anhaftungen am Stahlschrott Probe 1.1 (Angaben in mg/kg) 177

Tabelle 90: Zusammenfassung Bestandteile der Probe 1 Firma 2 179

Tabelle 91: Fraktionen und Massen des Stahlschrottes der Firma 2 (Angaben in kg) 180

Tabelle 92: Übersicht der mittels RFA-Messung ermittelten Legierungen an Stahlschrottteilen der Probe 1.1 der Firma 2 180

Tabelle 93: Übersicht der mittels RFA-Messung ermittelten Legierungen an Stahlschrottteilen der Probe 1.2 der Firma 2 181

Tabelle 94: Übersicht der mittels RFA-Messung ermittelten Legierungen an Stahlschrottteilen der Probe 1.3 der Firma 2 181

Tabelle 95: Ergebnisse der ICP-OES Messungen am Stahlschrott der Firma 2 (Angaben in mg/kg) 182

Tabelle 96: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Chrom bei Stahlschrotten der Firma 2 (Angaben in %) 183

Tabelle 97: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Mangan bei Stahlschrotten der Firma 2 (Angaben in %) 183

Tabelle 98: Einordnung der Fe-Schrotte der Firmen 1 und 2 anhand der Kriterien zum Ende der Abfalleigenschaft nach Verordnung 333/2011 184

Tabelle 99: Stoffanteile der Metallmischfraktion nach Handklaubung der Firma 1 186

Tabelle 100: Bestandteile der Metallmischfraktion (Firma 1) 186

Tabelle 101: Legierungsidentifizierung zweier Proben aus der Metallmischfraktion (Angaben in %) 188

Tabelle 102: Ergebnisse der ICP-OES Messung zweier Teile aus der Metallmischfraktion der Firma 1 (Angaben in mg/kg) 189

Tabelle 103: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Chrom in der Metallmischfraktion der Firma 1 (Angaben in %) 190

Tabelle 104: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Kupfer in der Metallmischfraktion der Firma 1 (Angaben in %) 190

Tabelle 105: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Mangan in Gew % in Metallmischfraktion (Firma 1) 190

Tabelle 106: Stoffanteile der Metallmischfraktion nach Handklaubung der Firma 2 191

Tabelle 107: Bestandteile der Metallmischfraktion der Firma 2 191

Tabelle 108: Legierungsidentifizierung zweier Proben aus der Metallmischfraktion der Firma 2 für Paralleluntersuchung RFA versus ICP (Angaben in %) 193

Tabelle 109: Ergebnisse der ICP-OES Messung zweier Teile aus der Metallmischfraktion der Firma 2 (Angaben in %) 193

Tabelle 110: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Chrom in Metallmischfraktion der Firma 2 (Angaben in %) 194

Tabelle 111: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Mangan in Metallmischfraktion der Firma 2 (Angaben in %) 194

Tabelle 112: Zusammensetzung der VA Teile der Firma 1 194

Tabelle 113: Zusammensetzung der VA Teile der Firma 2 196

Tabelle 114: Ergebnis der Sortieranalyse SSF (Probe 3) Firma 1: Materialzusammensetzung der Proben 200

Tabelle 115: Ergebnis Sortier- und Korngrößenanalyse SSF (Probe 3) der Firma 1: Verteilung der Probe insgesamt und der einzelnen Materialfraktionen auf die Korngrößenbereiche (Massenanteile) 201

Tabelle 116: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SSF (Probe 3) der Firma 1, inklusive der vorab separierten Metalle(*) 203

Tabelle 117: Übersicht der Ergebnisse des Repräsentativitätstests SSF (Probe 3) der Firma 1 208

Tabelle 118: Ergebnis der Sortieranalyse SSF (Probe 3) Firma 2: Materialzusammensetzung 212

Tabelle 119: Ergebnis Sortier- und Korngrößenanalyse SSF (Probe 3) der Firma 2: Korngrößenverteilung der der Probe insgesamt und Verteilung der einzelnen Materialfraktionen auf die Korngrößenbereiche (Massenanteile) 213

Tabelle 120: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SSF (Probe 3) der Firma 2, inklusive der vorab separierten Metalle(*) 216

Tabelle 121: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SSF Probe 3 der Firma 2 218

Tabelle 122: Korngrößen der SLF-Klassierung 220

Tabelle 123: Ergebnis der Sortieranalyse SLF (Probe 4) Firma 1 224

Tabelle 124: Ergebnis Sortier- und Korngrößenanalyse SLF (Probe 4) der Firma 1: Verteilung der Probe insgesamt und der einzelnen Materialfraktionen auf die Korngrößenbereiche (Massenanteile) 224

Tabelle 125: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SLF (Probe 4) inklusive der vorab separierten Metalle(*) (ca. 4,7 %) Firma 1 ... 227

Tabelle 126: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SLF (Probe 4) der Firma 1 229

Tabelle 127: Ergebnis der Sortieranalyse SLF der Firma 2 230

Tabelle 128: Ergebnis Sortier- und Korngrößenanalyse SLF (Probe 4) der Firma 2: Verteilung der Probe insgesamt und der einzelnen Materialfraktionen auf die Korngrößenbereiche (Massenanteile) 231

Tabelle 129: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SLF (Probe 4), inklusive der vorab separierten Metalle(*) (ca. 6 %) Firma 2 233

Tabelle 130: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SLF Probe 4 (Firma 2) 235

Tabelle 131: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SSF der Firma 1 238

Tabelle 132: Übersicht der Ergebnisse des Repräsentativitätstests SSF der Firma 1 238

Tabelle 133: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SSF der Firma 2 239

Tabelle 134: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SSF (Probe 3) der Firma 2 240

Tabelle 135: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SLF (Probe 4) ohne separierte Metalle (ca. 4,7 %) Firma 1 240

Tabelle 136: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SLF Probe 4 (Firma 1) 241

Tabelle 137: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SLF < 180 mm ohne separierte Metalle (ca. 6 %) Firma 2 242

Tabelle 138: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SLF Probe 4 (Firma 2) 243

Tabelle 139: Fraktionen für die optischen Bestimmungen (Firma 1) 245

Tabelle 140: Anfallstellen der optischen Bestimmung der Firma 2 249

Tabelle 141: Gegenüberstellung der erfolgreichen Repräsentativitätstests SSF für Firma 1 und Firma 2 252

Tabelle 142: Gegenüberstellung der erfolgreichen Repräsentativitätstests SLF für Firma 1 und Firma 2 253

Tabelle 143: Überprüfte Grunddaten und Annahmen 256

Tabelle 144: Durchschnittsalter verschiedener Stichproben von Altfahrzeugen in Deutschland in den Jahren 2014 bis 2016 258

Tabelle 145: Durchschnittliches Gewicht von Altfahrzeugen (gesamt=3.252) 263

Tabelle 146: Durchschnittliches gewogenes Gewicht von Altfahrzeugen am Eingang Demontagebetrieb (n_{gesamt}=425) (nicht korrigiert) 264

Tabelle 147: Gewogenes Gewicht von Altfahrzeugen am Eingang Demontagebetriebe 264

Tabelle 148: Statistische Daten zum Fahrzeugleergewicht laut Fahrzeugbrief (korrigiert nach AltfahrzeugV) 265

Tabelle 149: Verhältnis Leergewicht gewogen / Leergewicht Brief korrigiert nach AltfahrzeugV 266

Tabelle 150: Verhältnis Leergewicht gewogen - nur vollständige Altfahrzeuge / Leergewicht Brief korrigiert nach AltfahrzeugV 267

Tabelle 151: In der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne angefallene Outputfraktionen aus Demontagebetrieben (ASN–Bezeichnung) ... 270

Tabelle 152: Weitere Outputfraktionen aus Demontagebetrieben nach DESTATIS 271

Tabelle 153: Durch Demontagebetriebe im Rahmen der Vorbehandlung zu entnehmende Fraktionen 273

Tabelle 154: Art und Menge der Outputfraktionen aus der Vorbehandlung in kg/AFZ 274

Tabelle 155: Art und Menge der separierten Wertstoffe aus der Demontage in kg/AFZ 278

Tabelle 156: Aufteilung Ersatz- und Bauteile, metallisch/nicht metallisch aus der Vorbehandlung in kg/AFZ 282

Tabelle 157: Vergleich der durchschnittlichen Leergewichte von Altfahrzeugen im Demontagebetrieb-Input und Restkarossen im Demontagebetrieb-Output in den Jahren 2013 und 2014 mit den Ergebnissen der Demontageversuche 283

Tabelle 158: Outputströme nach ASN und Einschätzung der bisherigen und zukünftigen Relevanz für das Monitoring 286

Tabelle 159: Zusammensetzung von Blei-Säure-Batterien aus konventionellen Fahrzeugen 292

Tabelle 160: Abfälle der Kategorie Metallische Bauteile aus der Demontage von Altfahrzeugen (nach DESTATIS im Jahr 2013).....300

Tabelle 161: Höhe der Metallanteile sowie des Nichtmetallanteils der Outputfraktionen aus der Demontage: Restkarossen.....304

Tabelle 162: Höhe der Metallanteile sowie des Nichtmetallanteils der Outputfraktionen aus der Demontage: Kunststoffteile und Glas 305

Tabelle 163: Auszug aus dem Erhebungsbogen der Abfallstatistik für Schredderanlagen zur Darstellung des letztendlichen Verbleibs der verwerteten Schredderleichtfraktion (leicht vereinfacht) 311

Tabelle 164: Verwendete Abfallschlüsselnummern für die Schredderleichtfraktion, deren Metallanteil und Verbleibswege bei Schredderbetreiber 1...312

Tabelle 165: Verwendete Abfallschlüsselnummern für die Schredderleichtfraktion, deren Metallanteil und Verbleibswege bei Schredderbetreiber 2...313

Tabelle 166: Verbleib der Schredderleichtfraktion 314

Tabelle 167: Anteil der Schredderfraktionen am Intput bei den Schredderanlagen, ermittelt im Altfahrzeugmonoversuch der Altfahrzeug-Kampagne (Bezugsgröße Restkarosse Input Schredder).....315

Tabelle 168: Ableitung des Anteils der nichtmetallischen Fraktion am Restkarossengewicht 315

Tabelle 169: Vergleich der ermittelten Verwertungs- und Beseitigungsanteile an den Schredderoutputfraktionen in den Schredderversuchen 2016 mit den Daten der Abfallerhebung des Jahres 2013 316

Tabelle 170: Durchschnittlicher Metallanteil der 211 Altfahrzeuge in Demontagebetrieb 1 + Schredderbetrieb 1, rückgerechnet aus den metallischen Outputfraktionen aus der Demontage und dem Schreddern.....319

Tabelle 171: Durchschnittlicher Metallanteil der 214 Altfahrzeuge in Demontagebetrieb 2+ 3 und Schredderbetrieb 2 319

Tabelle 172: Vergleich der Anzahl der ausgeführten Restkarossen aus dem Demontageanlagen-Output und der importierten Restkarossen im Schredderinput [in t] in den Jahren 2007 bis 2014 321

Tabelle 173: Massendifferenz (t) zwischen Restkarossen-Output der Demontagebetriebe und dem Restkarossen-Input der Schredderanlagen in den Jahren 2007 bis 2014.....324

Tabelle 174: Vorgehen zur Identifizierung der praktizierten Verbleibswege von Outputfraktionen.....338

Tabelle 175: Verbleibswege Demontagebetrieb 1.....339

Tabelle 176: Verbleibswege Demontagebetrieb 2.....340

Tabelle 177: Demontage: Verbleibszweck (Ergebnis der Fragebogen-Erhebung) 342

Tabelle 178: Schredderbetrieb 1: Verbleibswege der Outputströme.....344

Tabelle 179: Schredderbetrieb 2: Verbleibswege der Outputströme.....345

Tabelle 180: Schredderbetrieb 2 Gesamtkonzern: Verbleibswege der Outputströme (2013) 345
Tabelle 181: In Altfahrzeugen enthaltene Wertstoffe 347
Tabelle 182: Vorkommen relevanter Wertstoffe in Fahrzeugkomponenten und ihr Verbleib in den Schredderfraktionen 352
Tabelle 183: Übersicht über die Gehalte der Wertstoffe in den Schredderoutputfraktionen (Gew%) (Quelle: Analytik im Rahmen der Schredderkampagne) 356
Tabelle 184: Abfallfraktionen aus der Fe-Fraktion (Quelle: Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne) 358
Tabelle 185: Abfallfraktionen aus der SSF und ihre Verbleibswege 359
Tabelle 186: Anteile der Feinfraktion SSF (< 2 mm) der Schredderkampagne 361
Tabelle 187: Vergleich der Anteile der SLF der Schredderkampagne mit anderen Studien 362
Tabelle 188: Abfallfraktionen aus der SLF und ihr Verbleib (Quelle: AP 1) 362
Tabelle 189: Rückgewinnungsraten metallischer Wertstoffe: Globale Durchschnittswerte; grün dargestellt: rückgewonnene Metalle aus Altfahrzeugen 367
Tabelle 190: Vergleich der absoluten Umweltauswirkungen zwischen der Demontage und der Post-Schredder-Separation von Fahrzeugglas (pro t) 374
Tabelle 191: Auszug Mindestanzahl der Einzel-/Misch- und Laborproben in Abhängigkeit vom Volumen der Grundmenge nach LAGA PN98 430
Tabelle 192: Mindestvolumen der Einzel- und Laborprobe In Abhängigkeit von der Korngröße/ Stückigkeit nach LAGA PN98 432
Tabelle 193: Angabe der Anzahl von Einzel- und Laborproben und Masse/Volumina 434
Tabelle 194: Untersuchungsumfang Stahlprodukt/Metallmischfraktion nach Handklaubung 435
Tabelle 195: Untersuchungsumfang Schredderfraktion 435
Tabelle 196: Fe-Fraktion nach Schredder 437
Tabelle 197: Schredderschwerfraktion 437
Tabelle 198: Schredderleichtfraktion 438
Tabelle 199: Auszug Mindestanzahl der Einzel-/Misch- und Laborproben in Abhängigkeit vom Volumen der Grundmenge nach LAGA PN98 444
Tabelle 200: Mindestvolumen der Einzel- und Laborprobe In Abhängigkeit von der Korngröße/ Stückigkeit nach LAGA PN98 444
Tabelle 201: Angabe der Anzahl von Einzel- und Laborproben und Masse/Volumina 448
Tabelle 202: Untersuchungsumfang Stahlprodukt/Metallmischfraktion nach Handklaubung 449

Tabelle 203: Untersuchungsumfang Schredderfraktionen 449

Tabelle 204: Rechnerische Zusammenstellung der in der Fe-Fraktion enthaltenen Elemente.....451

Tabelle 205: Zusammenstellung der im Labor verwendeten Probennummern ...453

Tabelle 206: Literaturrecherche - Zusammenfassung.....455

Tabelle 207: Zusammenfassung Literaturauswertung.....458

Abkürzungsverzeichnis

a	Anno (Jahr)
a. n. g.	anderweitig nicht genannt
Abs.	Absatz
AFZ	Altfahrzeug
AltfahrzeugG	Altfahrzeug-Gesetz
AltfahrzeugV	Altfahrzeugverordnung
AP	Arbeitspaket
ASN	Abfallschlüsselnummer
BGBl	Bundesgesetzblatt
BMU	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BTEX	Summenparameter Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol
ca.	circa
CS	Carbon steel (Kohlenstoffstahl, unlegierter Stahl)
d. h.	das heißt
DB	Demontagebetrieb
DESTATIS	Statistisches Bundesamt
ebd.	ebenda
EBS	Ersatzbrennstoff
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EG	Europäische Gemeinschaft
ELV	End-of-Life Vehicle (Altfahrzeug)
et al.	et alii (und andere)
EU	Europäische Union
EU KOM	Europäische Kommission
F&E	Forschung und Entwicklung
FIN	Fahrzeugidentifikationsnummer
FKZ	Forschungskennzeichen
Gew %	Gewichtsprozent
GG	Grundgesamtheit
ggf.	gegebenenfalls
GWP	Global Warming Potential
i. V. m.	in Verbindung mit
i.d.R.	in der Regel
ICP OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, Optische Emissionsspektrometrie
IDIS	International Dismantling Information System

IPA	Informationsportal Abfall
k. A.	keine Angabe
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
KI	Konfidenzintervall
KOM	Kommission
KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
Lkw	Lastkraftwagen
Me	Metall
MKW	Mineralkohlenwasserstoffe
MVA	Müllverbrennungsanlage
n	Anzahl, Stichprobengröße
n. a.	nicht angegeben/ nicht aufgeführt
n. n.	nicht nachweisbar
n. b.	nicht bestimmbar
NE	Nichteisen
Ni-Cd	Nickel-Cadmium
NMe	Nichtmetall
Nr.	Nummer
o. A.	ohne Autor
o. g.	oben genannt
o. J.	ohne Jahr
o. O.	ohne Ort
OS	Originalsubstanz
P	statistische Sicherheit
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (Summe 16 Einzelsubstanzen)
PBDE	Polybromierte Diphenylether
PCB	Summe Polychlorierte Biphenyle (7 Einzelsubstanzen)
pers. Kom.	persönliche Kommunikation
Pkt.	Punkt
Pkw	Personenkraftwagen
PST	Post-Schredder-Technologie
PVC	Polyvinylchlorid
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
S.	Seite
s_A	Analysenstreuung (hier inklusive Streuung durch Probenvorbereitung im Labor)
SHR	Schredderanlage
SK	Sammelkategorie

SLF	Schredderleichtfraktion
SMMT	Society of Motor Manufacturers and Traders
SP	Stichprobe
s_p	Probenahmestreuung
SSF	Schredderschwerfraktion
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
Tab.	Tabelle
TOC	Total Organic Carbon, gesamt organischer Kohlenstoff
TS	Trockensubstanz
U	erweiterte Gesamtmessunsicherheit
UBA	Umweltbundesamt
UK	United Kingdom
U_{tol}	tolerierbare erweiterte Gesamtmessunsicherheit
VA Stahl	Edelstahlsorten
vgl.	vergleiche
vs.	versus
VW	Volkswagen
ZFZR	Zentrales Fahrzeugregister

Definitionsverzeichnis

Bereich	Begriff	Bedeutung im Bericht
Demontage	Input Demontagebetrieb	Die in den Demontagebetrieb eingegangenen für die Kampagne relevanten Altfahrzeuge.
	Output Demontagebetrieb	Die Gesamtheit aller Ströme aus der Behandlung der Altfahrzeuge, die aus dem Demontagebetrieb stammt.
	Outputfraktion	Einzelner Strom aus der Behandlung der Altfahrzeuge, der aus dem Demontagebetrieb stammt.
	Gesamtgewicht Altfahrzeuge (Waage)	Das kumulierte Gewicht aller für die Kampagne relevanten Altfahrzeuge, das durch Wiegen der einzelne Altfahrzeuge vor der Behandlung im Demontagebetrieb ermittelt wurde.
	Gesamtgewicht Altfahrzeuge (Briefgewicht)	Das kumulierte Gewicht aller für die Kampagne relevanten Altfahrzeuge, das durch Erhebung der Leergewichte gemäß Fahrzeugbrief (korrigiert entsprechend § 2(1) 23. AltfahrzeugV) der einzelnen Altfahrzeuge in einem Demontagebetrieb ermittelt wurde.
	Gesamtgewicht Restkarosse	Das kumulierte Gewicht aller für die Kampagne relevanten Restkarossen eines Demontagebetriebes.
Schredder	Input Schredderanlage	Die in die Schredderanlage eingegangenen für die Kampagne relevanten Restkarossen.
	Output Schredderanlage	Die Gesamtheit aller Ströme aus der Behandlung der Restkarossen, die aus der Schredderanlage stammt.
	Outputfraktion	Einzelner Strom aus der Behandlung der Restkarossen, der aus der Schredderanlage stammt.
	Abweichung nach Anlieferung	Die Differenz zwischen dem Output Demontagebetrieb und dem Input Schredderanlage.
	Post-Schredder-Technologie	Verfahren zur vertieften Aufbereitung von Schredderabfällen/-rückständen.
	Schredderrückstände	Der Teil des Schredderoutputs, bestehend aus Schredderleicht- und Schredderschwerfraktion (gebräuchliche Bezeichnung).

Zusammenfassung

Hintergrund und Aufgabenstellung

Für die Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten nach der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG in Deutschland wurde Anfang der 2000er Jahre eine Methodik entwickelt, die erstmals für das Berichtsjahr 2004 angewendet wurde. Sie basiert auf einer Erhebung der Input- und Outputströme der Altfahrzeug-Demontagebetriebe sowie der Altfahrzeug-behandelnden Schredderbetriebe im Rahmen der Abfallstatistik nach Umweltstatistikgesetz. Das Umweltbundesamt nutzt die vom Statistischen Bundesamt aggregierten Daten und ermittelt daraus die Altfahrzeug-Verwertungsquoten für Deutschland. Dieses Berichtssystem ist mit geringem Erfassungsaufwand für die Schredderbetreiber verbunden, deren Input sich aus einem Mix aus Altfahrzeugen und anderen metallhaltigen Abfällen zusammensetzt, und arbeitet mit einigen Annahmen und Schätzungen, insbesondere, was den Anfall der Schredderleichtfraktion aus der Behandlung der Altfahrzeuge betrifft.

Seit nunmehr 10 Jahren werden die Verwertungsquoten für Altfahrzeuge mit unveränderter Methodik ermittelt. Damit ist der Bedarf nach einer Evaluierung und ggf. Aktualisierung entstanden, um die Methodik, Systematik und Datengrundlagen an die technischen und rechtlichen Entwicklungen der letzten Jahre anzupassen.

Die Kommissionsentscheidung 2005/293/EG[1] sieht vor, dass zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten auch Schredderkampagnen durchgeführt werden[2]. Die Durchführung entsprechender Schredderkampagnen wird durch einen Leitfaden der Kommission aus dem Jahr 2012 und ein zugehöriges Hintergrunddokument unterstützt.

Da sich die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen in den letzten 10 Jahren weiter entwickelt haben, wurden eine Aktualisierung, Fortschreibung und ggf. **Anpassung der Datengrundlagen sowie die Monitoringmethoden** für die EU-Berichtspflichten unter der Altfahrzeug-Richtlinie als notwendig gesehen.

Die seit dem Jahr 2006 geforderten Recycling- und Verwertungsziele der Altfahrzeug-Richtlinie sowie die ab 2015 zu erreichenden Quoten von mindestens 95 % Verwertung und Wiederverwendung, davon mindestens 85 % stoffliche Verwertung und Wiederverwendung hielt Deutschland stets ein. Gleichzeitig wurde gesehen, dass die **Hochwertigkeit der Verwertung** sowie die Ressourceneffizienz der Altfahrzeugverwertung verstärkt in den Fokus zu nehmen ist und Verbesserungspotenziale erschlossen werden können.

Ziel des Vorhabens war es vor diesem Hintergrund, die Datengrundlagen für das Monitoring der Altfahrzeugverwertungsquoten nach der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG auf nationaler Ebene zu aktualisieren und die Datenqualität zu verbessern.

Es wurde ein projektbegleitender Beirat eingerichtet, in dem das Vorgehen und die Ergebnisse mit Stakeholdern diskutiert wurden.

---

[1] Entscheidung der Kommission vom 1. April 2005 zur Festlegung der Einzelheiten für die Kontrolle der Einhaltung der Zielvorgaben für Wiederverwendung/Verwertung und Wiederverwendung/Recycling gemäß der Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Altfahrzeuge (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2004) 2849), OJ L 94, 13.4.2005, p. 30–33

[2] Siehe Anmerkung 6 im Anhang der Kommissions-Entscheidung 2005/293/EG: „6. Die Ausgangsströme von Altfahrzeugen aus einer Schredderanlage werden berechnet auf der Grundlage der Schredderkampagnen in Kombination mit den Eingangsströmen von Altfahrzeugen in eine Schredderanlage. … Die Mitgliedstaaten erstatten der Kommission Bericht über die Zahl der auf ihrem Hoheitsgebiet durchgeführten Schredderkampagnen. …“

Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne

Aufgabe in diesem Arbeitsschritt war es, eine repräsentative Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne unter Bezugnahme auf EU-Vorgaben zu konzipieren, vorzubereiten, durchzuführen und auszuwerten. Hierzu wurden in einem ersten Arbeitsschritt vorhandene Kampagnen und Studien recherchiert (siehe Kapitel 2.5.1) und das Ergebnis inhaltlich um Aspekte einer zusätzlich durchgeführten Expertenbefragung (siehe Kapitel 2.5.2) ergänzt. Dieses floss zusammen mit den Vorgaben des Kommissionsleitfadens (Ökopol, 2012b) in ein Durchführungskonzept ein. Anhand der Hauptfragestellungen (siehe Kapitel 2.3) berücksichtigte es die einzubeziehenden Betriebe hinsichtlich ihrer Auswahlkriterien, die ausgewählte Altfahrzeug-Stichprobe auf ihren Umfang und Repräsentativität sowie den detaillierten Versuchsablauf.

Die Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne erfolgte in zwei Anlagen in Form von zwei Monoversuchen. Unter Einbeziehung der Ergebnisse der Literatur- und Datenbankrecherche, der Expertengespräche und des Methodikleitfadens der EU-Kommission wurde folgender Untersuchungsrahmen gesetzt:

- Berücksichtigung der Vorbehandlung/ Demontage und der anschließende Aufbereitung/ PST,
- Bestimmung einer sinnvollen Altfahrzeugstichprobe,
- Festlegung geeigneter Betriebe,
- Entwicklung eines Dokumentationsformats.

Die statistische Analyse der Ergebnisse von Vor-Demontageversuchen, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zur besseren Absicherung der Stichprobe durchgeführt wurden, zeigte, dass für einen repräsentativen Demontageversuch je Anlage ca. 150 bis 200 Restkarossen erforderlich sind. Die Anforderung der Schredderanlage 1, dass für einen stabilen Betrieb der post-Schredder-Anlage mindestens 200 bis 250 Altfahrzeuge notwendig sind, führt zu einer Erhöhung des notwendigen Stichprobenumfangs, der aus statistischer Sicht nicht notwendig wäre. Für den Versuch in Schredderanlage 2 hätte der Stichprobenumfang aus technischen und statistischen Gesichtspunkten auf 200 Stichprobeneinheiten reduziert werden können. Aus Gründen der Vergleichbarkeit zwischen den beiden Schredderanlagen und des geringen Mehraufwandes wurde darauf verzichtet. Der Stichprobenumfang je Schredderanlage und damit auch je Demontageanlage wurde auf 250 Stichprobeneinheiten festgelegt.

Demontageversuche

Die Demontageversuche wurden in dem Zeitraum von Dezember 2015 bis April 2016 durchgeführt. Insgesamt wurden im Demontagebetrieb 1 211 Altfahrzeuge, von den Demontagebetrieben 2 und 3 zusammen 214 Altfahrzeuge demontiert. Im Ergebnis standen 425 fortlaufend nummerierte, demontierte und dokumentierte Restkarossen für die Schredderversuche zur Verfügung.

Schredderversuche

Am 10. und 11.05.2016 bzw. am 19.05.2016 fanden die Schredderversuche bei den beiden Schredderanlagen statt. Die erzielte Aufteilung der Restkarossen auf die Gewichtsklassen der 4 Schichten wich von der ursprünglichen Planung ab, weil im Rahmen der zeitlichen Möglichkeiten und der Marktlage nicht auf entsprechende Altfahrzeuge zugegriffen werden konnte.

Ergebnisse der Kampagne

Das **Durchschnittsalter der Altfahrzeuge**, für die eine Information aus dem Fahrzeugbrief verfügbar war, lag für Demontagebetrieb 1 bei 19,53 Jahren, für Demontagebetrieb 2 bei 18,14 Jahren und für Demontagebetrieb 3 bei 20,85 Jahren.

Das durchschnittliche gewogene **Gewicht der Altfahrzeuge** lag bei Demontagebetrieb 1 bei ca. 1.008 kg, bei Demontagebetrieb 2 bei ca. 1.049 kg und bei Demontagebetrieb 3 bei 1.002 kg. Das

durchschnittliche Fahrzeuggewicht nach Fahrzeugbrief lag für Demontagebetriebe 1 und 2 ca. 4 % höher, als das gewogene Gewicht, bei Demontagebetrieb 3 um 1 % niedriger.

Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen die Input-/Outputbilanz der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne.

Abbildung 1: Massenbilanz unter Berücksichtigung der Demontageleistung; Metall – Nichtmetall

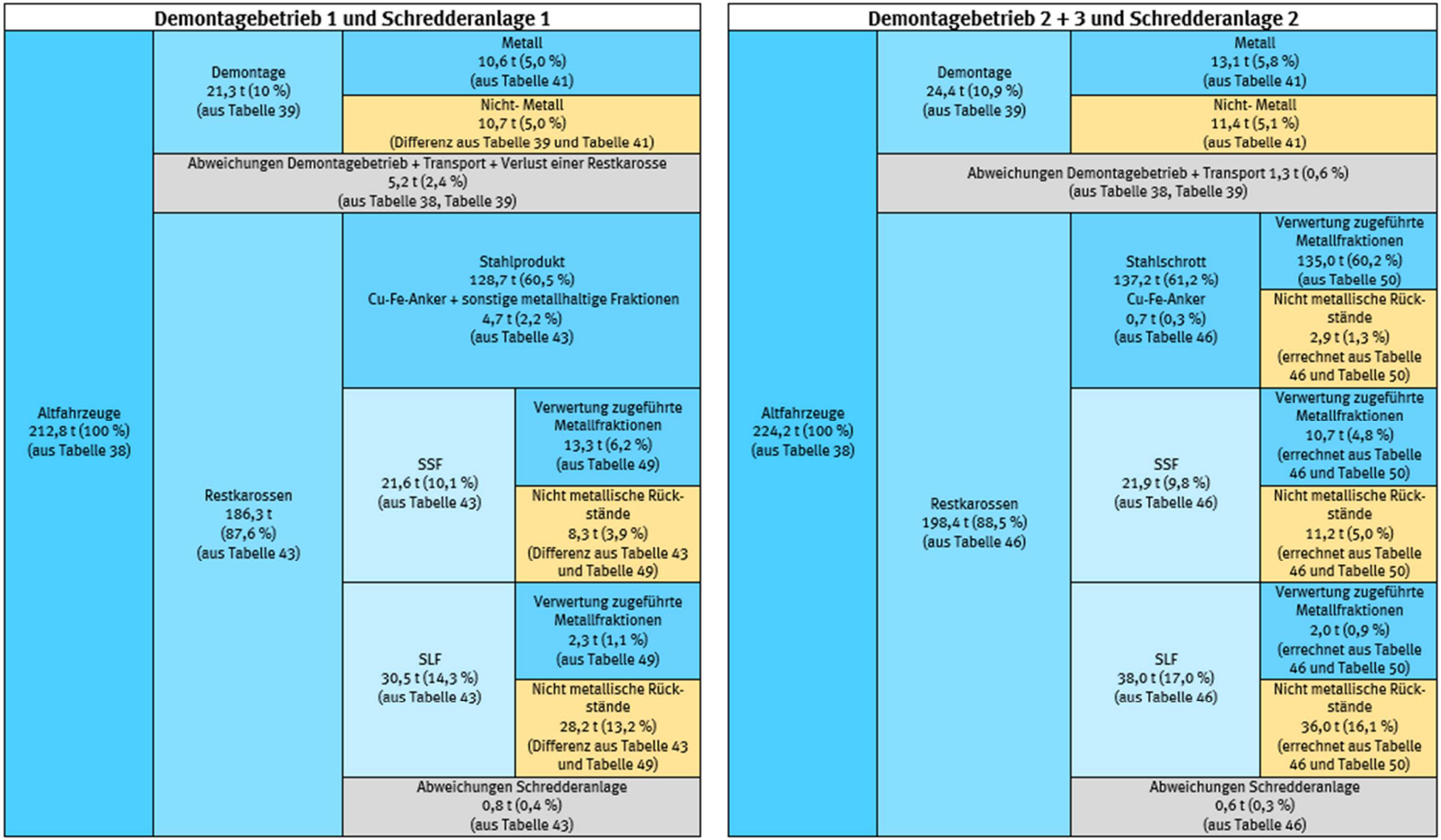
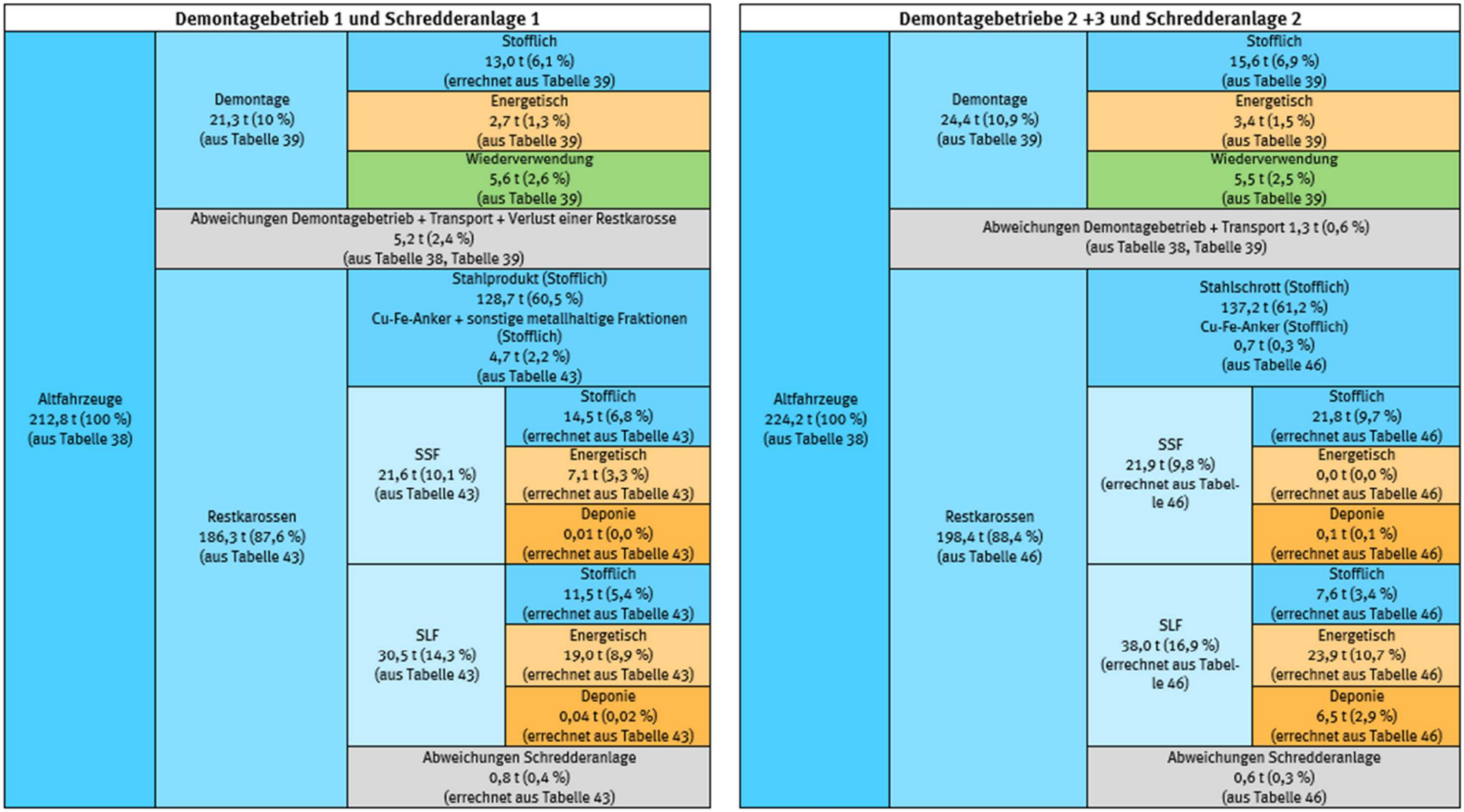


Abbildung 2: Massebilanz unter Berücksichtigung der Demontageleistung, Verbleibszweck



Bezogen auf die Unterteilung zwischen Metallfraktionen, die einer Verwertung zugeführt wurden, und den Nichtmetallen aus den Demontageanlagen sowie der nichtmetallischen Rückstände ergaben sich die Kernaussagen, die in Tabelle 1und Tabelle 2 dargestellt sind.

Tabelle 1: Gesamtbilanz Aufteilung Metall/Nichtmetall

Beteiligte	Metallfraktion, die einer Verwertung zugeführt wurden, Anteil an Masse Altfahrzeugen [%]	Nichtmetalle aus den Demontagebetrieben sowie nichtmetallische Rückstände, Anteil an Masse Altfahrzeugen [%]
Demontagebetrieb 1, Schredderanlage 1	73,8	23,4
Demontagebetrieb 2 und 3, Schredderanlage 2	70,3	28,8

Tabelle 2: Gesamtbilanz Aufteilung Wiederverwendung, Stoffliche Verwertung, Energetische Verwertung, Deponie (Angaben in %)

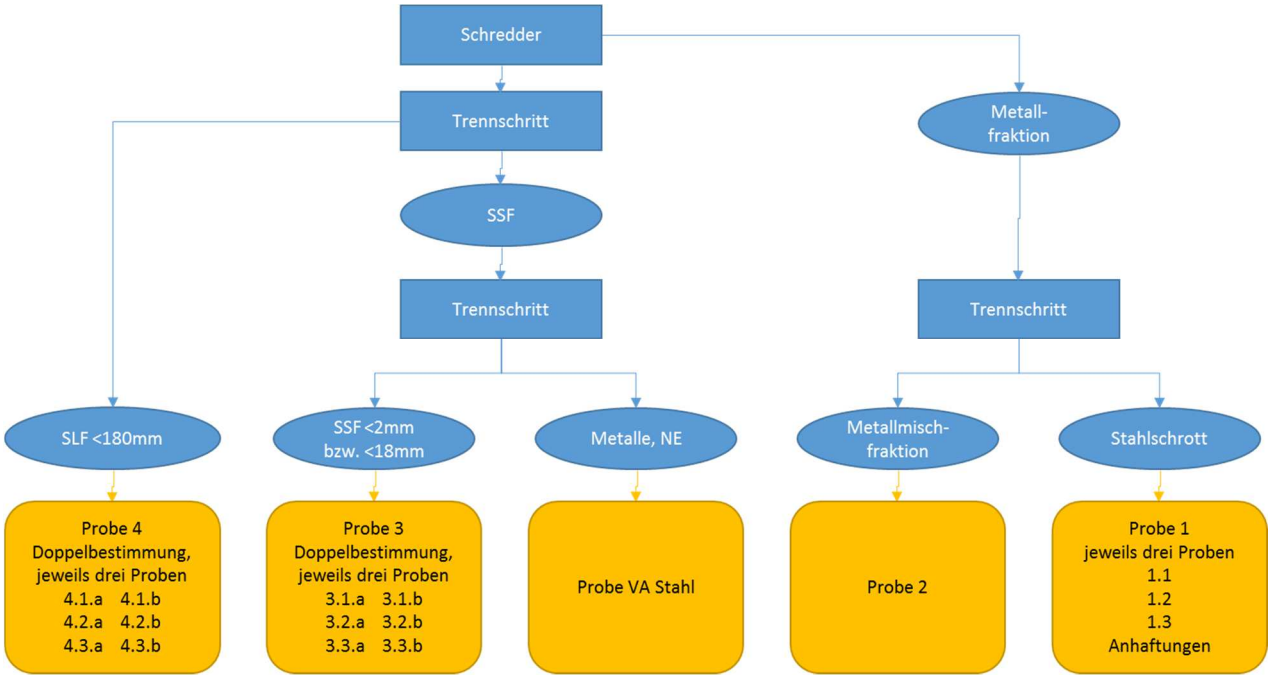
Beteiligte	Wiederverwendung, Anteil an Masse Altfahrzeugen	Stoffliche Verwertung / Recycling, Anteil an Masse Altfahrzeugen	Energetische Verwertung, Anteil an Masse Altfahrzeugen	Deponie, Anteil an Masse Altfahrzeugen	Gewichtsverluste
Demontagebetrieb 1, Schredderanlage 1	2,6	81,0	13,5	0,02	2,8
Demontagebetrieb 2 und 3, Schredderanlage 2	2,5	82,5	11,3	2,8	0,9

Schad- und Wertstoffanalysen

Zur Verbesserung der Erkenntnislage zu Wert- und Schadstoffgehalten der bei der Altfahrzeugverwertung erzeugten Fraktionen und zur Unterstützung der Bearbeitung der Fragestellungen zum Quotenmonitoring und zur Hochwertigkeit der Verwertung wurden ausgewählte Outputfraktionen (siehe Abbildung 3) aus der Schredderkampagne untersucht.

Aufgrund der zu erwartenden starken Heterogenität des zu untersuchenden Schreddermaterials wurden sowohl für SSF- als auch die SLF-Fraktionen jeweils drei die Grundmenge charakterisierende Mischproben zusammengestellt und jeweils doppelt untersucht.

Abbildung 3: Vereinfachtes Schema Probenahmestellen im Schredderprozess und Analytik



Der Parameterumfang der Analysen ist in Tabelle 3 aufgelistet. Bei der Einordnung der Analyseergebnisse ist zu beachten, dass die Fraktionen in der Praxis weiter in post-Schredder-Anlagen behandelt werden.

Tabelle 3: Parameterumfang der Analysen

Parameter	Stahl-schrott	Anhaftun-gen Stahl-schrott	VA-Stahl	Metall-misch-fraktion	SSF	SLF	Output PST
Fe/NE-Metalle	X			X			
Stichproben Edel- und Sondermetalle	X			X			
Sondermetalle	X			X			
Legierungen	X		X	X			
Korngrößenspektrum					X	X	
Glühverlust					X	X	
Wassergehalt					X	X	
Glas/nicht-Glas-Mine-ralik/Kunststoffe und Elastomere/Al/Cu/Fe			X	X	X	X	
Metalle		X			X	X	
Organische Schadstoffe					X	X	
Cl gesamt					X	X	
Br gesamt					X	X	
Optische Begutachtung							X

Der für die Analysen separierte Stahlschrott enthielt bei beiden Firmen ca. 99 % Stahl (inkl. Beschichtungen und Anhaftungen) und 1 % andere Bestandteile. Die optische Begutachtung der der Stahlfraktion an der Anfallstelle ergab einen Fremdstoffgehalt von > 2 %. Die Einschätzung der Schrotte in Bezug auf Abfallendeeigenschaften ergab dementsprechend, dass die Kriterien nicht erfüllt sind, wenn die vor-Ort-Sichtprüfung an der Anfallstelle (die als zuverlässiger eingeschätzt wurde, als die Analyse der ausgewählten Stahlschrottproben) zugrunde gelegt wird.

Die Legierungsanalyse beim Stahlschrott mittels RFA zeigte für 31 Proben Cr-Gehalte auf. Die Konzentrationen lagen in 21 Fällen unter 1 %, in 9 Fällen über 1 %. In einem Fall wurde V mit einer Konzentration von ca. 1 % identifiziert.

Die Untersuchung der 3 Stahlschrottstichproben mittels ICP OES ergaben Konzentrationswerte für Ag und Au unter der Nachweisgrenze bzw. in einem Fall eine Ag-Konzentration von 2,4 mg/kg. Die Nd-Konzentrationen lagen zwischen 41 und 59 mg/kg.

Die Sonderuntersuchung der Anhaftungen der Stahlfraktion zeigte, dass Gold wenn überhaupt dann unter der Nachweisgrenze enthalten war. Es wurden unter anderem Gehalte an Silber und Neodym sowie Praseodym festgestellt.

Die Metallmischfraktion zeigte einen Kupfergehalt von 21 - bis 37 % und einen Fe-Gehalt von 56 % - 71 % auf. Der Rest bestand im Wesentlichen aus Kunststoffen und Elastomeren.

Die Legierungen in der VA-Stahlfraktion wiesen erwartungsgemäß hohe Gehalte an Cr (16 % - 20 %) und Mo (0,1 % - 3 %) auf.

Die untersuchte SSF bestand zu überwiegenden Anteilen aus Glas und nicht-Glas-Mineralik. Weiterhin stellten Kunststoffe und Elastomere mengenrelevante Anteile dar. Die Konzentration von Au lag unter der Nachweisgrenze, die von Ag zwischen 7 mg/kg und 65 mg/kg. Der Nd-Gehalt lag zwischen 11 mg/kg und 90 mg/kg bzw. teilweise auch unter der Nachweisgrenze. Der Cu-Gehalt lag zwischen 2.300 mg/kg und 26.000 mg/kg.

Die SLF bestand zu überwiegenden Anteilen aus Kunststoffen und Elastomeren, der Mineralikanteil lag bei ca. 20 %. Auch hier lag die Au-Konzentration unter der Nachweisgrenze, für Ag zwischen 2 mg/kg – 13 mg/kg, Nd zwischen 15 mg/kg bis 31 mg/kg und Cu zwischen32.000 mg/kg und 43.000 mg/kg.

Die SLF (Probe 4) und SSF (Probe 3) wurden auf PBDE als bromierte Flammschutzmittel untersucht, die teilweise in der POP-VO reguliert sind (Tetra- bis Hepta-BDE). Bei der Interpretation der Daten ist folgendes zu beachten:

1) Die Auswertung zu den bromierten Flammschutzmitteln steht unter der Einschränkung, dass zwar die Probenahme repräsentativ, jedoch die Probenahme und Analytik teilweise nicht repräsentativ waren.
2) Darüber hinaus ist die Analytik für einige Parameter bisher nicht eindeutig genormt.
3) Schließlich handelt es sich bei den untersuchten Fraktionen der SSF und SLF um betriebsinterne Zwischenfraktionen, die in dieser Form nicht zur Entsorgung abgegeben werden, sondern anschließend weiteren Aufbereitungsschritten unterzogen werden.

Fazit: Die PBDE-Untersuchungsergebnisse können lediglich als erste Anhaltspunkte für PBDE-Gehalte von SSF- und SLF-Fraktionen dienen.

Die SSF (Probe 3) der Firma 1 enthält Konzentrationen der in der POP VO-regulierten bromierten Flammschutzmittel unterhalb der Nachweisgrenze. Auch der Wert für DecaBDE liegt unterhalb der Nachweisgrenze. Der Bromgehalt liegt ebenfalls unterhalb der Nachweisgrenze.

Die Situation bei der SSF (Probe 3) der Firma 2 weist hierzu lediglich den Unterschied eines DecaBDE-Wertes oberhalb der Nachweisgrenze (Mittelwert 410 mg/kg, Median 325 mg/kg) und eines Br_{gesamt}-Wertes von 0,027 Gew % auf.

Auch bei der SLF (Probe 4) der Firma 1 liegen die Werte für die in der POP VO-regulierten bromierten Flammschutzmittel unterhalb der Nachweisgrenze. Für DecaBDE sind Konzentrationen von 77 mg/kg (Mittelwert) bzw. 66 mg/kg (Median) gefunden worden. Der Wert für Br_{gesamt} lag unter Nachweisgrenze.

Bei der SLF (Probe 4) der Firma 2 liegen die Werte für die POP BDE ebenfalls unterhalb der Nachweisgrenze. Für DecaBDE sind Konzentrationen von 1.400 mg/kg (Mittelwert) bzw. 350 mg/kg (Median) gefunden worden. Hierzu passend lagen die Werte für Br_{gesamt} mit 0,018 Gew % höher als bei Firma 1.

Die gefundenen niedrigen Br_{gesamt}-Werte lassen vermuten, dass auch relativ geringe Gehalte anderer bromierter Flammschutzmittel zu erwarten sind.

Insgesamt zeigt sich, dass die festgestellten Konzentrationen der in der POP VO-regulierten bromierten Flammschutzmittel unterhalb des Summengrenzwertes der POP-VO von 1.000 mg/kg liegen. Wird DecaBDE als reguliertes bromiertes Flammschutzmittel in die POP-VO aufgenommen, wird von Bedeutung sein, wie der Grenzwert festgelegt wird. Als Summenwert der Mittelwerte der bisherigen POP-BDE plus DecaBDE ergäbe sich für die SLF bei einer der beiden Firmen in dem Restkarossenmono-schredderversuch eine Konzentration von über 1000 mg/kg, das heißt oberhalb des derzeitigen POP-VO-Summengrenzwerts.

Fortschreibung der Grunddaten und der Methodik des Altfahrzeug-Quotenmonitorings

Die Datenbasis für die Bestimmung der Altfahrzeug-Verwertungsquoten bilden die Abfallstatistiken der statistischen Landesämter und des Statistische Bundesamtes. Der Bericht an die Europäische Kommission umfasst die nationalen Quoten entsprechend § 5 Abs. 1 AltfahrzeugV.

Da Deutschland die Methode „Schätzung des Metallgehaltes“ nach Artikel 1 Abs. 2 anwendet (UBA & BMUB 2015), bei der der verwertete Metallanteil in den Altfahrzeugen auf der Grundlage einer repräsentativen Fahrzeugauswahl bestimmt und pauschal in den Verwertungsquoten berücksichtigt wird, muss bei der Datenerhebung für die Verwertungsquoten eine Differenzierung der metallischen und der nicht-metallischen Altfahrzeuganteile erfolgen. Da die metallischen Anteile pauschal in der stofflichen Verwertungsquote berücksichtigt werden, ist nur für die nicht-metallischen Anteile eine Differenzierung zwischen stofflicher und energetischer Verwertung vorzunehmen.

Die Darstellung der Verwertungssituation in den Tabellen zur Berichterstattung an die EU-Kommission sehen für den Output der Schredderanlagen die Unterteilung in „Eisenhaltiger Schrott (Stahl)“, „Nichteisenhaltige Werkstoffe (Aluminium, Kupfer, Zink, Blei usw.)“, „Schredderleichtfraktion (SLF)“ und „Andere“ vor.

Da Schredderanlagen nicht nur Restkarossen von Altfahrzeugen, sondern auch weitere Abfälle behandeln, werden die Daten der produzierten Fraktionen vom Umweltbundesamt rechnerisch aufgeteilt in einen Anteil, der aus der Restkarossen stammt und einen Anteil, der aus anderen Inputfraktionen stammt.

Für die Schredderleichtfraktion (im Sinne der Berichterstattung) werden mit Hilfe der statistischen Fragebögen auch Angaben darüber erhoben, ob diese letztendlich stofflich verwertet, energetisch verwertet oder beseitigt wurde.

Nachfolgend werden die angewandte Methodik sowie die Ergebnisse der Validierung bzw. Aktualisierung der für die Quotenberichterstattung benötigten Grunddaten dargelegt. Die in der folgende Tabelle 4 benannten Grunddaten und Annahmen wurden überprüft.

Zur Überprüfung und Aktualisierung der aufgezählten Datenarten wurden Literaturrecherchen durchgeführt und Gespräche mit Experten geführt. Wo möglich, wurden die Ergebnisse der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (siehe Kapitel 2) und weitere Informationen der beteiligten Altfahrzeugverwertungsbetriebe genutzt. Zusätzlich wurden einige Demontagebetriebe mittels Fragebogen nach den Praxisdaten befragt.

Tabelle 4: Überprüfte Grunddaten und Annahmen

Datenbereich	Datenart	Im Jahresbericht 2013 genutzter Wert, bisheriges Vorgehen	Ergebnis Forschungsvorhaben
Grundsätzlich	Durchschnittsalter von Altfahrzeugen	14 - 15 Jahre	19,2 Jahre in der Kampagne, 17,3 Jahre als Mittelwert einschließlich ausgewerteter Literatur; Durchschnittswert 18 Jahre
	Durchschnittlicher Metallgehalt von Altfahrzeugen	75,5 %	71,2 % - 76,6 %
Bezogen auf den Input der Demontagebetriebe	Durchschnittliches Eingangsgewicht der Altfahrzeuge beim Demontagebetrieb (zur Plausibilitätsprüfung, ob die Daten von DESTATIS die Realität abbilden und ob die Betriebe die Gewichte korrekt nach AltfahrzeugV bestimmen)	Fahrzeuggewicht nach Fahrzeugbrief (korrigiert)	Gewogenes durchschnittliches Altfahrzeuggewicht: 1.028 kg Durchschnittliches Altfahrzeuggewicht laut Fahrzeugbrief: 980 kg Bestätigung dieser Werte aus den gewogenen Werten der Altfahrzeuge
Bezogen auf den Output der Demontagebetriebe	Benennung und Quantifizierung der Outputströme, stofflich und energetisch verwerteten nichtmetallischen Anteile der Outputströme	Die Untersuchungen zeigten bei den Outputströmen der Demontagebetriebe teilweise deutliche Abweichungen zwischen den erhobenen Werten und den Werten nach DESTATIS (z. B. Reifen, Batterien), teilweise auch ähnliche Werte (z. B. Katalysatoren). Die Erhebung zu Massen von Komponenten in Fahrzeugen im Rahmen des Forschungsvorhabens aus anderen Quellen hat jedoch auch gezeigt, dass die Massen je Fahrzeug in der Praxis tatsächlich sehr breit streuen und somit die Massenströme je nach Input der Demontagebetriebe stark differieren können.	
	Verwertungsanteile von ins Ausland ausgeführte Restkarossen	Zukünftig sollten die Demontagebetriebe zusätzlich zu der Anzahl der exportierten Restkarossen in den Erhebungen nach Umweltstatistikgesetz die Zielländer angeben. Dazu sollten die Erhebungsbögen zur Abfallstatistik für die Demontagebetriebe entsprechend geändert werden. Zur Ermittlung der Verwertungs- und Recyclingquoten der Zielländer sollten die Quoten des Vorjahres nach EUROSTAT herangezogen werden.	
	Monitoringrelevanz des Output	Die Untersuchung zur Monitoringrelevanz der Outputströme bestätigte im Wesentlichen die Auswahl im Rahmen des Monitorings des UBA und empfahl die Ergänzung bzw. Streichung einiger ASN aus den Monitoringberechnungen.	

Datenbereich	Datenart	Im Jahresbericht 2013 genutzter Wert, bisheriges Vorgehen	Ergebnis Forschungsvorhaben
Bezogen auf den Output der Schredderbetriebe	Abfallschlüsselnummern (ASN), die für die Schredderleichtfraktion(en) bzw. die Fraktionen aus deren weiteren Behandlung (Post-Schredder-Technik, PST) verwendet werden	19 10 03*, 19 10 04	Eine Festlegung auf einen Katalog von ASN ist kaum mehr möglich, da die PST teilweise auf über 100 verschiedene Fraktionen differenziert.
	Massenanteil der Schredderleichtfraktion(en) (SLF), der aus Restkarossen resultiert	25 %	18 %
	Massenanteil der Schredderschwerfraktion(en) (SSF), der aus Restkarossen resultiert	k. A.	11 %
	Massenanteil der nichtmetallischen Schredderrückstände	k. A.	22,5 %
	Stofflich und energetisch verwertete Anteile des nicht-metallischen Schredderoutput	47,1 % stofflich 48,9 % energetisch (DESTATIS)	32 % stofflich 60 % energetisch
Bezogen auf den Gesamtprozess	Höhe des verwerteten Anteils des Metallgehalts von Altfahrzeugen	97 %	99 %

Die durchgeführten Untersuchungen haben somit in wesentlichen Bereichen eine Bestätigung der Grunddaten des Monitorings ergeben. Die Vielzahl von Outputfraktionen aus der PST lassen es aus gutachterlicher Sicht sinnvoll erscheinen, eine betriebsbezogene Erhebung der Entsorgungsketten für Altfahrzeuge als Grundlage des Monitorings zu nutzen. Dabei können ggf. auch Ergebnisse der betriebsbezogenen Quoten aus der Anerkennung als Altfahrzeugentsorgungsanlage genutzt werden. Die Erhebung ist im Rahmen von Batchversuchen denkbar.

Hochwertigkeit der Altfahrzeugverwertung

Deutschland erreicht seit 2006 die massenbezogenen Recycling- und Verwertungsquoten der deutschen Altfahrzeug-Verordnung. Seit 2010 erfüllt Deutschland sogar die seit 2015 zu erreichenden höheren Quoten von mindestens 95 % Verwertung und Wiederverwendung, davon mindestens 85 % stoffliche Verwertung und Wiederverwendung, auch nach Bereinigung um die quotensteigernden Nachwirkungen der Umweltprämie.

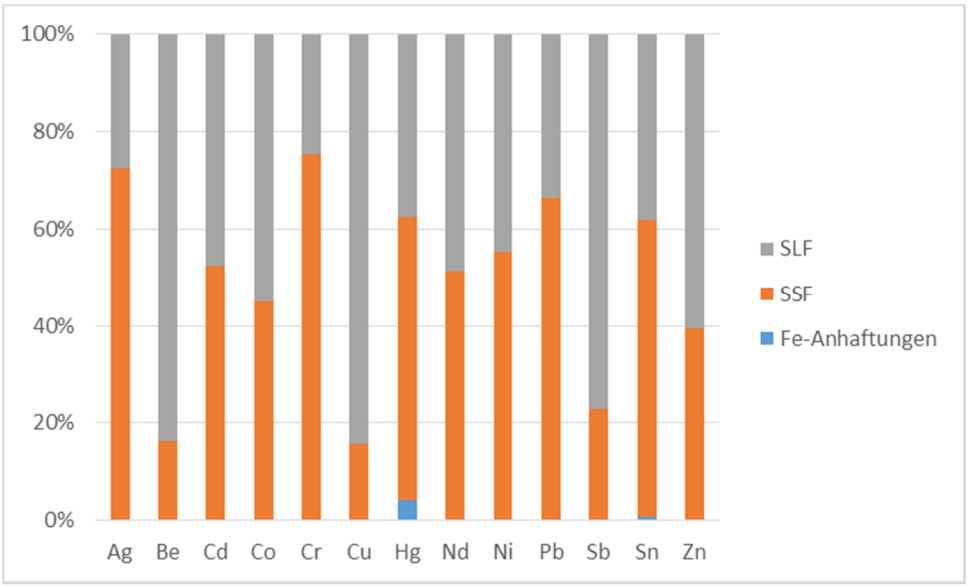
Es wird jedoch angenommen, dass insbesondere für die in der Schredderleichtfraktion (SLF) enthaltenen Fraktionen, wie etwa Kunststoffe, Elastomere, Glas und Metall (vgl. Duwe & Goldmann 2012) eine Verwertung stattfindet, bei der die Potenziale einer hochwertigen Sekundärnutzung nicht ausgeschöpft sind (vgl. Faulstich et al. 2015). Derzeit erfolgt die Entsorgung von Schredderrückständen oftmals in Verwertungspfade wie energetische Verwertung oder Bergversatz beziehungsweise Deponiebau, in denen kein werkstoffliches Recycling bzw. keine Nutzung spezifischer werkstofflicher Eigenschaften der enthaltenen Materialien erfolgt.

Vor diesem Hintergrund war Gegenstand dieses Arbeitsschrittes, die Potenziale einer hochwertigeren Altfahrzeugverwertung zu identifizieren und Empfehlungen für Maßnahmen für deren Erschließung zu formulieren. Zu diesem Zweck erfolgt

- eine Beschreibung der Verbleibswege der Outputfraktionen aus der Demontage und aus dem Schredder,
- die Bewertung der Hochwertigkeit der Verwertungspraxis der in den Schredderoutputfraktionen enthaltenen Wertstoffe,
- die Identifizierung bislang nicht erschlossener Potenziale einer höherwertigeren Verwertung sowie
- die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen auf der Grundlage der ermittelten Potenziale.

Die durchgeführte Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne sowie die chemischen Untersuchungen ergaben die in Abbildung 4 dargestellte Verteilung der identifizierten Elementemassen auf die Outputströme der Schredder. Tabelle 5 zeigt die massenbezogenen Werte.

Abbildung 4: Verteilung der identifizierten Elementemassen auf die Outputströme der Schredder



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

Tabelle 5: Verteilung der identifizierten Elementemassen auf die Outputströme der Schredder (Angaben in kg/a)

Element	Masse aus Fe-Anhaftungen	Masse aus SSF	Masse aus SLF
Ag	3	1.426	543
Be		9	45
Cd	1	291	265
Co	4	7.528	9.165
Cr	54	57.609	18.893
Cu	129	573.532	3.071.161
Hg	1	11	7
Nd	4	1.869	1.769
Ni	22	19.459	15.677
Pb	170	378.941	190.541
Sb	5	3.252	10.939
Sn	170	17.257	10.653
Zn	404	366.139	562.778

Verbleib der Outputfraktionen

Die aktuell praktizierten Verbleibswege lassen sich aus der Statistik von DESTATIS nicht explizit erkennen. Der Endverbleib wird nicht ausgewiesen. Die Erfassung der Massen, durch die verwendete Maßeinheit 1.000 t, wird dem jeweiligen Aufkommen der Abfallgruppen deutschland-

weit gerecht. Es wird aber nicht berücksichtigt, dass z. B. Ölfilter wesentlich geringere Massenanteile als metallische Bauteile in Altfahrzeugen haben. Einige ASN werden nur durch wenige Demontagebetriebe genutzt.

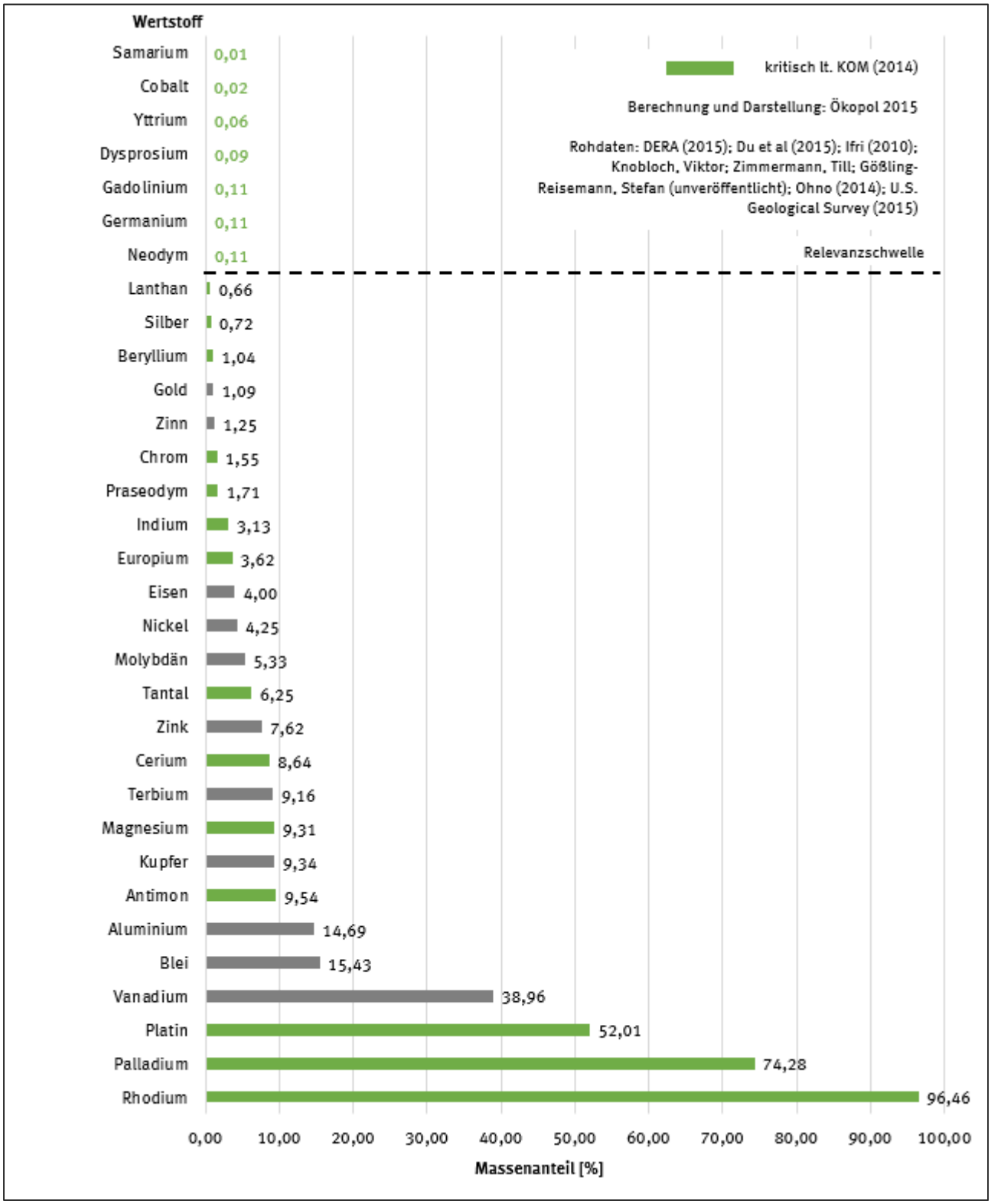
Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden die Verbleibswege der Outputfraktionen der bei der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne beteiligten Demontagebetriebe und Schredder sowie weiterer Demontagebetriebe erhoben. Die Ergebnisse wurden als Grundlage zur Identifikation von Schwachstellen der Hochwertigkeit der Verwertung genutzt.

Bewertung der Hochwertigkeit

Zur Bewertung des aktuellen Standes der Hochwertigkeit bei der Altfahrzeugverwertung und der Identifizierung bestehender noch unausgeschöpfter Hochwertigkeitspotenziale wurden zunächst die relevanten Wertstoffe ermittelt, die aktuell oder mittelfristig in Altfahrzeugen enthalten sein können. Fahrzeuge können mehrere tausend Stoffe enthalten (vgl. GADSL 2016). Im ersten Arbeitsschritt musste somit eine Fokussierung der Betrachtung erfolgen. Auf der Grundlage von Literaturrecherchen und eigener Bewertungen wurden die relevanten in Altfahrzeugen enthaltenen (Wert-)Stoffe bzw. Materialien als Basis für die weiteren Untersuchungen identifiziert. Für die insgesamt 51 Stoffe bzw. Materialien, die als relevant für die aktuellen Altfahrzeuge identifiziert wurden, wurden auf der Grundlage von Literaturrecherchen die Massenrelevanz und Kritikalität betrachtet.

Abbildung 5 fasst die Massenrelevanz der metallischen Wertstoffe als Quotient der jeweiligen globalen Einsatzmenge in Fahrzeugen im Verhältnis zur globalen Produktionsmenge des jeweiligen Wertstoffs im Jahr 2014 zusammen. Da entsprechende quantifizierende Informationen zu den Elementen Gallium, Mangan, Niob, Scandium, Titan und Ytterbium nicht verfügbar waren, sind diese Elemente nicht in die folgende Grafik aufgenommen worden. Sofern es sich bei einem Wertstoff um einen in der EU kritischen Rohstoff (vgl. KOM 2014) handelt, wurde dies farbig indiziert. Es wird deutlich, dass insbesondere die Edelmetalle Rhodium, Palladium und Platin überwiegend in der Fahrzeugindustrie eingesetzt werden, während beispielsweise nur etwa vier Prozent des weltweit produzierten Stahls (Fe) für die Fertigung von Fahrzeugen aufgewendet wird.

Abbildung 5: Ungefähre Massenanteile metallischer Wertstoffe in Fahrzeugen an der Weltproduktion



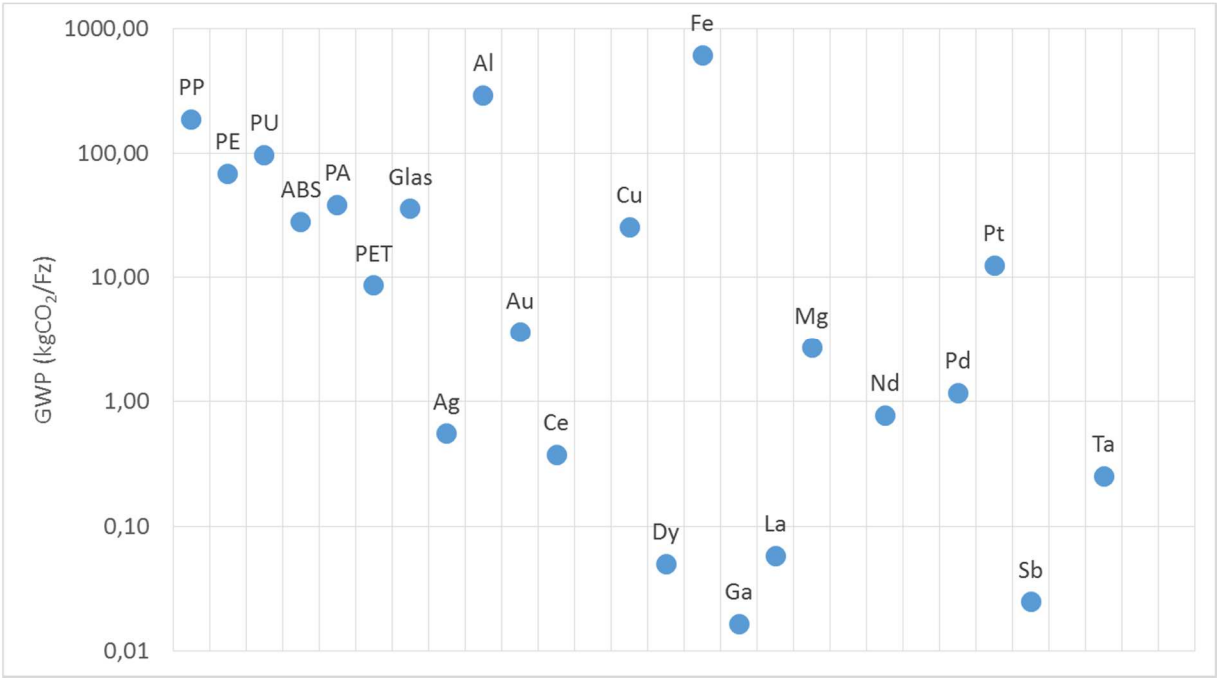
Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

Die Relevanzschwelle für die weitere Betrachtung wurde auf 0,5 % des Anteils der Automobilbranche gelegt, und somit die 25 Metalle aus Abbildung 5 oberhalb dieser Schwelle sowie Kunststoffe und Glas bei den folgenden Arbeitsschritten untersucht.

Für die identifizierten Materialien oberhalb der Relevanzschwelle wurde analysiert, in welchen Komponenten des Autos sie überwiegend eingesetzt werden (Hauptverwendungsbereiche) und es wurde eine Stoff-Komponenten-Matrix erstellt. Darauf aufbauend wurde über Primärerhebungen sowie Literaturauswertungen recherchiert, in welchen Outputfraktionen der Prozesse der Altfahrzeugbehandlung die jeweiligen Komponenten verbleiben.

Anschließend wurde die ökologische Relevanz der eingesetzten Wertstoffe in Fahrzeugen als weitere Basis zur Entwicklung von Empfehlungen untersucht. Hierfür wird auf den ökobilanziellen Summenparameter „Global Warming Potential“ (GWP in kg CO_2) fokussiert. Dafür wurden Daten über das Treibhauspotenzial der Herstellung der jeweiligen Materialien (Metalle, Kunststoffe, Glas) recherchiert und die spezifischen GWP-Werte mit den Massenanteilen in Fahrzeugen zusammengeführt. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Zusammensetzung von PKW handelt es sich bei einer solchen Zusammenstellung von Durchschnittswerten nur um eine grobe Orientierungsdarstellung. Es wird deutlich, dass mit Ausnahme von Eisen, Kupfer und Aluminium das Treibhauspotenzial der eingesetzten Metalle bei der Betrachtung pro Fahrzeug deutlich niedriger ist, als das jeweilige GWP der eingesetzten Kunststoffe PP, PU, PA, PE und ABS (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: GWP verschiedener Materialien je PKW

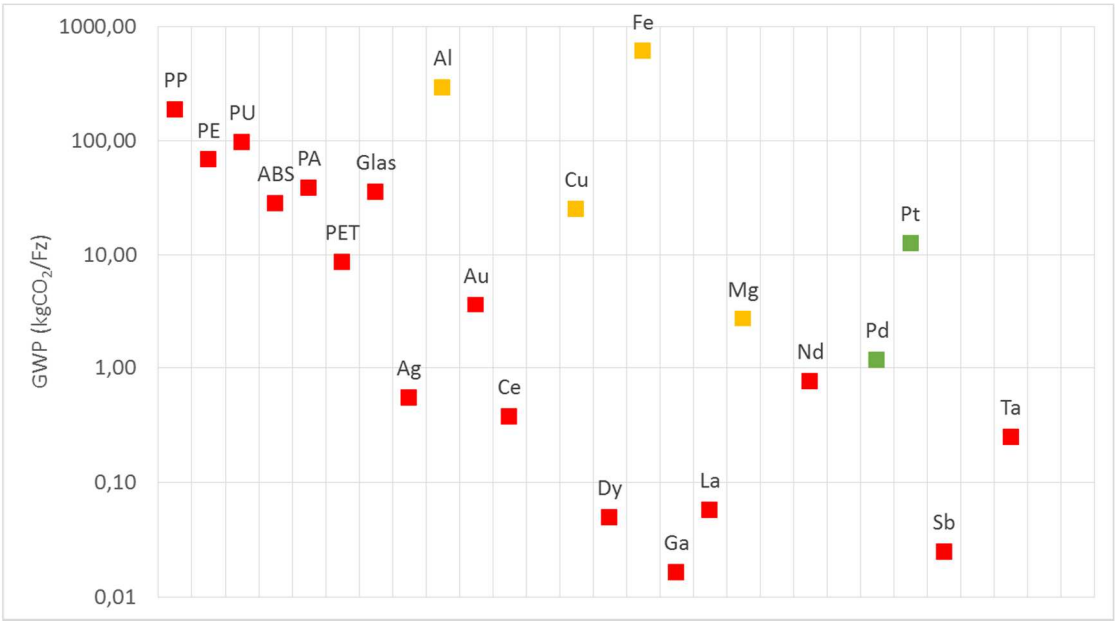


Datengrundlage: Nuss 2014, PlasticsEurope 2016, UNEP 2013, Schmid 2015, Culbrand 2012; Angaben soweit Daten über die Menge pro Fahrzeug verfügbar waren

Aus der Analyse der aktuell praktizierten Behandlung und Verwertung von Altfahrzeugen wurden verschiedene, bislang nicht erschlossene Potenziale sichtbar, deren Erschließung zu einer (höherwertigen) Sekundärnutzung verschiedener in den Altfahrzeugen enthaltenen Wertstoffe

führen kann. Hierzu wurde die Hochwertigkeit der derzeitigen Verwertungspfade der Behandlungsfraktionen betrachtet. Abbildung 7 führt die Ergebnisse der Bewertung der Entsorgungspraxis mit der ökologischen Relevanz der in den Altfahrzeugen enthaltenen Wertstoffen (siehe Kapitel 5.5) zusammen.

Abbildung 7: GWP verschiedener Materialien je PKW und Bewertung möglicher Schwachstellen in Bezug auf die Hochwertigkeit der Verwertung



Datengrundlage: Nuss 2014, PlasticsEurope 2016, UNEP 2013, Schmid 2015, Culbrand 2012, Angaben soweit Daten über die Menge pro Fahrzeug verfügbar waren

Große Schwachstellen und damit besonders große Verbesserungspotenziale in Richtung Hochwertigkeit liegen bei den in Fahrzeugen enthaltenen Kunststoffen, und zwar für alle betrachteten Kunststoffsorten. Gleiches gilt auch für das Fahrzeugglas. Damit sollte ihnen bei der Suche nach Optimierungsansätzen für die Verwertungspraxis eine mindestens ebenso große Rolle zukommen wie beispielsweise den Edel- und Sondermetallen. Im Bereich der Massenmetalle Eisen, Kupfer und Aluminium liegen mittelgroße Verbesserungspotenziale, die aufgrund der ökologischen Mengenrelevanz dieser Metalle auch besser erschlossen werden sollten. Auffällig ist zudem die hohe Relevanz von Neodym, das zwischen Gold und Silber liegt und mit der zukünftigen Zunahme im Altfahrzeugbereich (Groke et al. 2015) weiter an Relevanz gewinnen wird

Ansätze zur Optimierung der aktuellen Verwertungspraxis

Die nachfolgend skizzierten Ansätze adressieren die dargelegten Schwachstellen der derzeitigen Verwertungspraxis und zielen auf ihre Optimierung durch die Ausgestaltung und Nutzung verbesserter Verwertungspfade. Sie adressieren insbesondere die als relevant identifizierten Wertstoffe: Kunststoffe und Glas, Massenmetalle Eisen, Aluminium und Kupfer sowie Edelmetalle.

- Weiterführende Anforderungen an die Demontage
  Der Anhang der AltfahrzeugV enthält in Nummer 3.2.3.3 Demontageverpflichtungen für

bestimmte Wertstoffkomponenten zum Zweck der Wiederverwendung oder stofflichen Verwertung.
Aus gutachterlicher Sicht sollte mindestens für den Hauptkabelstrang die Kupfer-Demontagepflicht absolut formuliert werden und keine Alternativoption zur Trennung beim oder nach dem Schreddern mehr eröffnet werden, wie dies derzeit in der AltfahrzeugV bestimmt ist.
In Bezug auf elektronische Bauteile wird die Etablierung einer Demontagepflicht für Fahrzeugelektronik aus Altfahrzeugen empfohlen. Um den Demontagebetrieben die nötige Flexibilität zu erhalten, sollten keine konkreten Bauteile mit einer Demontagepflicht versehen werden, eine Aufzählung typischer adressierter Komponenten, analog zur Beispielaufzählung für große Kunststoffbauteile in Nr. 3.2.3.3 des Anhangs der Altfahrzeugverordnung, ist jedoch möglich.
Es wird in diesem Zusammenhang empfohlen, eine harmonisierte Vorgehensweise auf europäischer Eben zu erreichen, d. h. nach Möglichkeit entsprechende Anforderungen in die Altfahrzeugrichtlinie aufzunehmen. Möglich wäre jedoch auch die Realisierung auf nationaler Ebene.
Für Kunststoffteile sowie für Glas sollten vorhandene Anlagengenehmigungen, die eine Ausnahme von der Demontagepflicht erlauben unter ökologischen Aspekten überprüft und ggf. aufgehoben werden.

- Zur Optimierung des Aluminiumrecyclings sollte eine Separationspflicht für Aluminiumknetlegierungen in die AltfahrzeugV aufgenommen werden.
- Zudem wird es als sinnvoll angesehen den Metallgehalt derjenigen Fraktionen zu begrenzen, die in die Verfüllung gehen, energetisch verwertet oder beseitigt werden.

Summary

Background and task

At the beginning of the 2000s, a methodology was developed for determining end-of-life vehicle recycling rates in accordance with the End-of-Life Vehicles Directive 2000/53/EC in Germany, which was applied for the first time in the 2004 reporting year. It is based on a survey of the input and output flows of end-of-life vehicle dismantling plants and end-of-life vehicle treatment shredders within the framework of waste statistics in accordance with the Environmental Statistics Act. The Federal Environment Agency uses the data aggregated by the Federal Statistical Office to calculate the recycling rates for end-of-life vehicles in Germany. This reporting system requires little input from shredder operators, whose input consists of a mix of end-of-life vehicles and other metalliferous waste, and works with some assumptions and estimates, in particular as regards the generation of the light shredder fraction from the treatment of end-of-life vehicles.

For 10 years now, the recovery rates for end-of-life vehicles have been determined using the same methodology. This has created the need for evaluation and, if necessary, updating in order to adapt the methodology, system and data bases to the technical and legal developments of recent years.

Commission Decision 2005/293/EC[3] also provides for shredder campaigns to determine end-of-life vehicle recycling quotas[4]. The implementation of such shredder campaigns will be supported by a Commission guide from 2012 and an accompanying background document.

As the legal and technical framework conditions have developed further in the last 10 years, it was considered necessary to update, update and, if necessary, **adapt the data basis and the monitoring methods** for EU reporting obligations under the End-of-Life Vehicles Directive.

Germany has always complied with the recycling and recovery targets set out in the End-of-Life Vehicles Directive since 2006 and the quotas of at least 95 % recycling and reuse to be achieved from 2015, of which at least 85 % is material recovery and reuse. At the same time, it was seen that the **high quality of recycling** and the resource efficiency of end-of-life vehicle recycling must be given greater focus and potential for improvement can be tapped.
Against this background, the aim of the project was to update the data basis for the monitoring of end-of-life vehicle recycling rates under the ELV Directive 2000/53/EC at national level and to improve data quality.

A project-accompanying advisory board was established in which the procedure and the results were discussed with stakeholders.

[3] Commission Decision of 1 April 2005 laying down detailed arrangements for monitoring compliance with the targets for reuse/recycling/recycling/recycling set out in Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council on end-of-life vehicles (notified under document number C(2004) 2849), OJ L 94, 13.4.2005, p. 30-33

[4] See Note 6 of the Annex to Commission Decision 2005/293/EC:"6. the output flows of end-of life vehicles from a shredder are calculated on the basis of the shredder campaigns in combination with the input flows of end-of life vehicles into a shredder. ... Member States report to the Commission on the number of shredder campaigns carried out on their territory. "…“

End-of-life vehicle recovery and shredder campaign

The task in this working step was to design, prepare, implement and evaluate a representative end-of-life vehicle recovery/ shredder campaign with reference to EU specifications. In a first step, existing campaigns and studies were researched (see chapter 2.5.1 and the result was supplemented by aspects of an additional expert survey (see chapter 2.5.2. This was incorporated into an implementation concept together with the requirements of the Commission guideline (Ökopol, 2012b). On the basis of the main questions (see chapter 2.3. it took into account the companies to be included with regard to their selection criteria, the selected sample of end-of-life vehicles in terms of their size and representativeness as well as the detailed test procedure.

The end-of-life vehicle recovery and shredding campaign took place in two plants in the form of two mono trials. Including the results of the literature and database research, the expert discussions and the methodology guide of the EU Commission, the following framework of investigation was set:

- Consideration of pre-treatment/ disassembly and subsequent preparation/ PST,
- Determination of a meaningful sample of end-of-life vehicles,
- Establishment of suitable plants
- Development of a documentation format.

The statistical analysis of the results of pre-dismantling tests carried out as part of this research project to better secure the sample showed that approx. 150 to 200 residual bodies per plant are required for a representative dismantling test. The requirement of shredder facility 1 that at least 200 to 250 end-of-life vehicles are required for stable operation of the post-shredder facility leads to an increase in the necessary sample size, which would not be statistically necessary. For the test in shredder plant 2, the sample size could have been reduced to 200 units for technical and statistical reasons. For reasons of comparability between the two shredder plants and the low additional expenditure, this was dispensed with. The sample size per shredder plant and thus also per dismantling plant was set at 250 sample units.

Dismantling trials

The dismantling trials were carried out between December 2015 and April 2016. A total of 211 end-of-life vehicles were dismantled at the dismantling plant 1, 214 end-of-life vehicles were dismantled by the dismantling plants 2 and 3. As a result, 425 consecutively numbered, dismantled and documented residual car bodies were available for the shredder tests.

Shredding trials

On 10th and 11.05.2016 and 19.05.2016 the shredder trials took place at the two shredder facilities. The allocation of the remaining bodies to the weight classes of the four layers deviated from the original planning because the corresponding end-of-life vehicles could not be accessed within the time frame due to market situation.

Campaign results

The average age of end-of-life vehicles for which information from the vehicle registration document was available was 19.53 years for dismantling plant 1, 18.14 years for dismantling plant 2 and 20.85 years for dismantling plant 3.

The average **weight of end-of-life vehicles** determined by weighing was approx. 1,008 kg for dismantling plant 1, approx. 1,049 kg for dismantling plant 2 and 1,002 kg for dismantling plant

3. For dismantling plants 1 and 2, the average vehicle weight according to the vehicle registration documents was approx. 4 % higher than the weighed weight, for dismantling company 3 it was 1 % lower.

Figure 1 and Figure 2 show the input/output balance of the end-of-life vehicle recovery and shredding campaign.

Figure 1: Mass balance taking into account the disassembly performance; metal - non metal

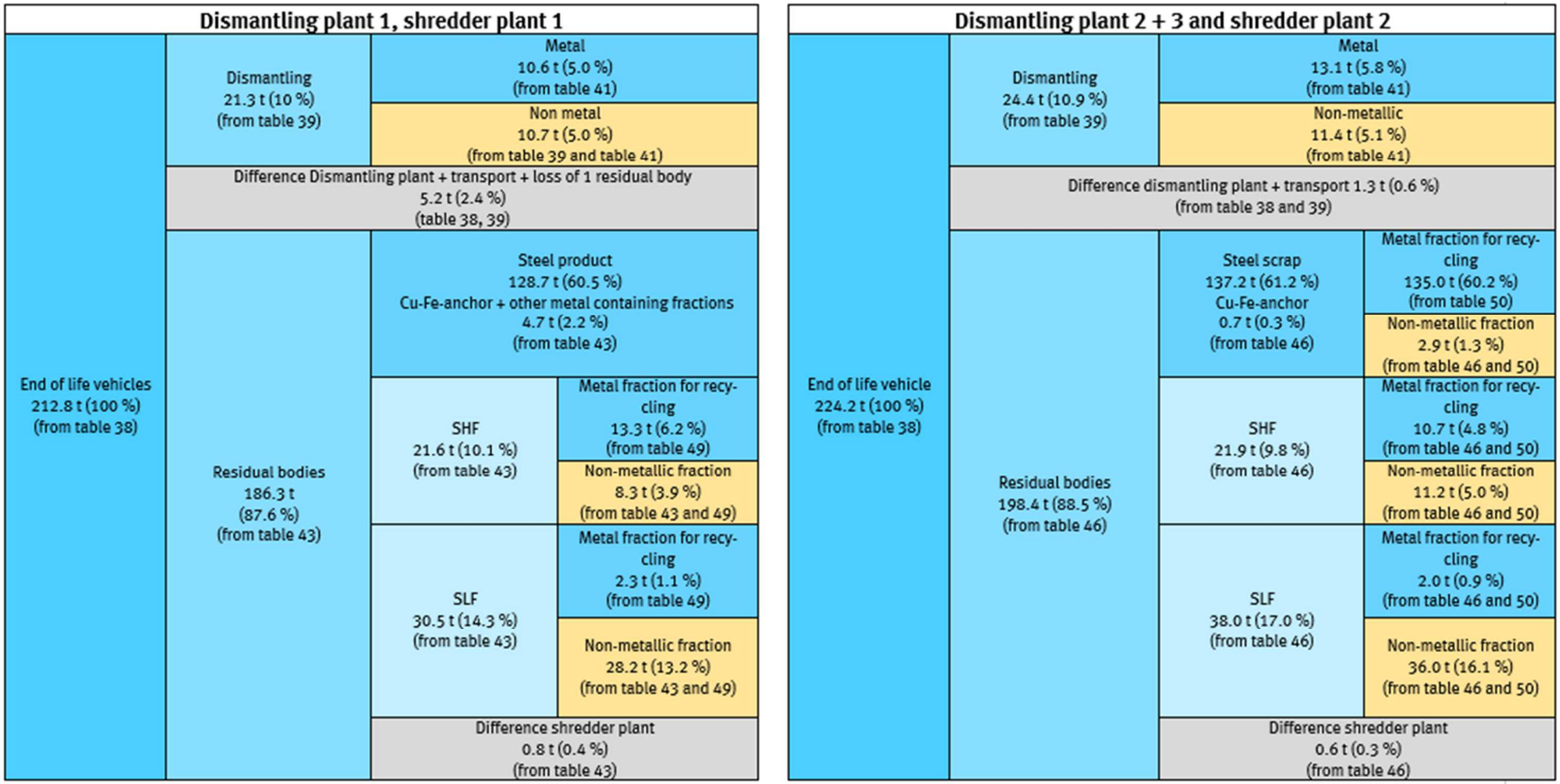
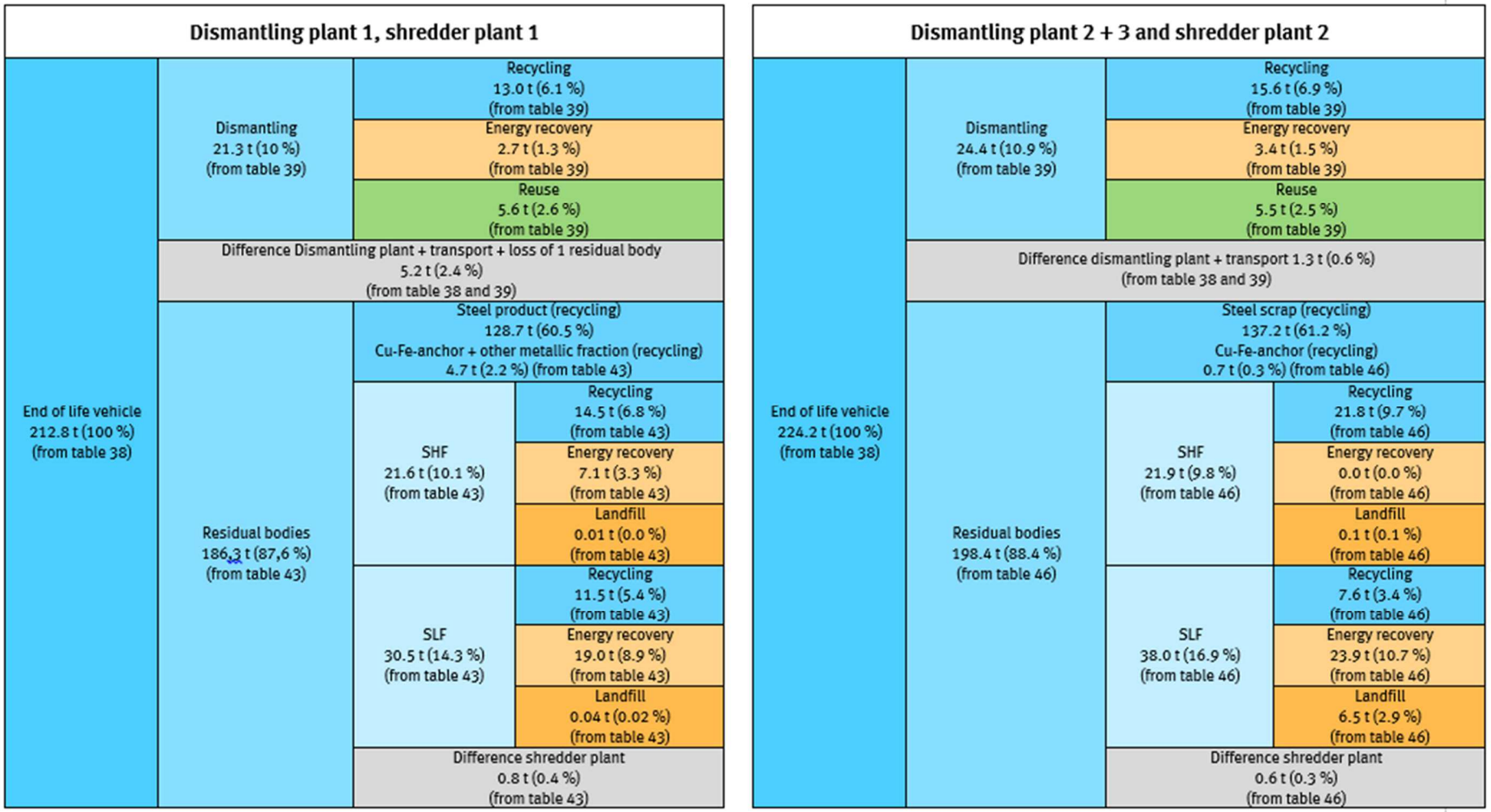


Figure 2: Mass balance taking into account the disassembly performance, whereabouts



With regard to the subdivision between metal fractions for recycling and non-metals from the dismantling plants and non-metallic residues, the key statements were given in Table 1 and Table 2.

Table 1 Overall balance sheet – breakdown metal/non-metal

Parties involved	Metal fraction recycled, proportion of mass of end-of-life vehicles (%)	Non-metals from dismantling plants and non-metallic residues, proportion of mass of end-of-life vehicles (%).
Dismantling plant 1, shredder plant 1	73,8	23,4
Dismantling plant 2 and 3, shredder plant 2	70,3	28,8

Table 2: Total: Distribution of reuse, recycling, energy recovery, landfill (in %)

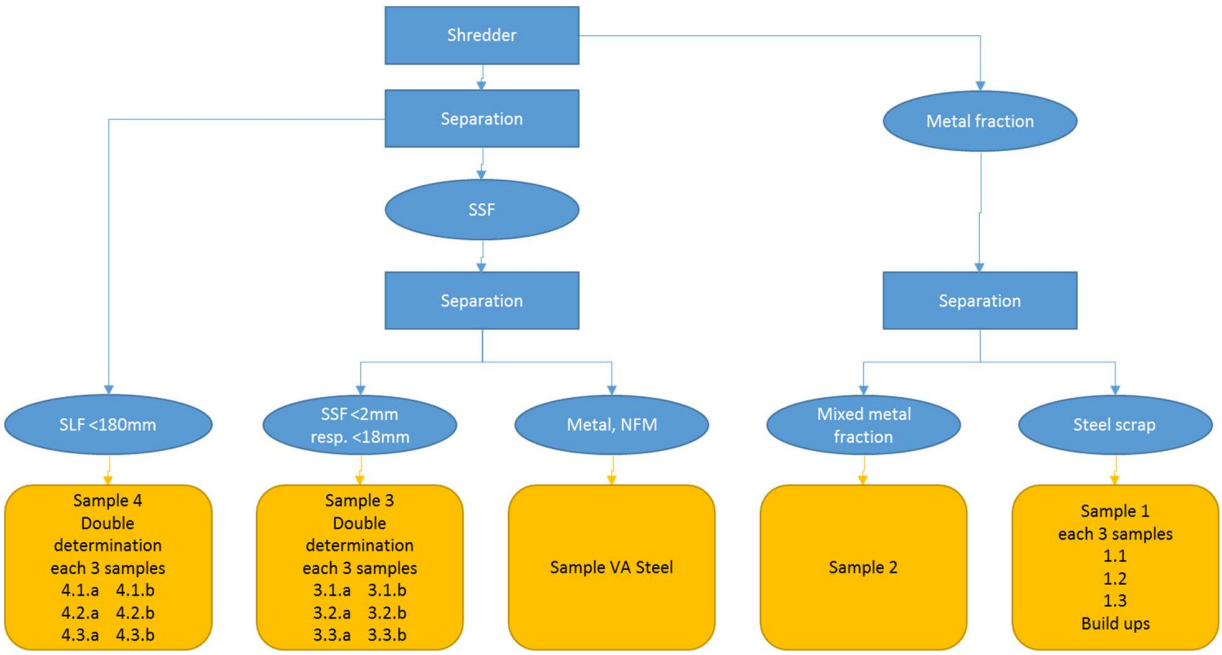
Parties involved	Reuse, proportion of mass of end-of-life vehicles	Material recovery / recycling, proportion of mass of end-of-life vehicles	Energy recovery, proportion of mass of end-of-life vehicles	Landfill, proportion of mass of end-of-life vehicles	weight losses
Dismantling plant 1, shredder plant 1	2,6	81,0	13,5	0,02	2,8
Dismantling plant 2 and 3, shredder plant 2	2,5	82,5	11,3	2,8	0,9

Pollutant and valuable material analyses

In order to improve the knowledge on the content of valuable and hazardous content of the fractions generated in end-of-life vehicle treatment and to support the work on quota monitoring and the quality of recycling, selected output fractions (see Figure 3) from the shredder campaign were examined.

Due to the expected strong heterogeneity of the shredder material to be examined, three mixed samples characterizing the basic quantity were compiled for both SSF and SLF fractions and each were examined twice.

Figure 3: Simplified scheme of samples in the shredding process and analytics



The parameter scope of the analyses is listed in Table 3. When classifying the results of the analysis, it should be noted that in practice the fractions will be treated in post-shredder technologies subsequently.

Table 3: Parameter scope of the analyses

Parameter	Steel scrap	Buildup of steel scrap	VA-steel	Mixed metal fraction	SHF	SLF	Output PST (140 fractions)
Fe / Non-ferrous metals	X			X			
Samples of precious and special metals	X			X			
Special metals	X			X			
Alloys	X		X	X			
Particle size range					X	X	
Loss on ignition					X	X	
Water content					X	X	
Glass / non-glass mineral / plastics and elastomers / Al / Cu / Fe			X	X	X	X	

Parameter	Steel scrap	Buildup of steel scrap	VA-steel	Mixed metal fraction	SHF	SLF	Output PST (140 fractions)
Metals		X			X	X	
Organic pollutants					X	X	
Cl total					X	X	
Br total					X	X	
Optical inspection							X

The steel scrap separated for analysis contained approximately 99 % steel (including coatings and buildup) and 1 % other components for both companies. The optical inspection of the steel fraction at the point of origin revealed a foreign matter content of > 2 %. Accordingly, the assessment of the scrap with regard to end-of-waste properties showed that the criteria are not fulfilled if the on-site visual inspection at the point of collection (which was estimated to be more reliable than the analysis of the selected steel scrap samples) is taken as a basis.

The alloy analysis for steel scrap using XRF showed Cr contents for 31 samples. Concentrations were below 1 % in 21 cases and above 1 % in 9 cases. In one case, V was identified at a concentration of about 1 %.

The examination of the 3 steel scrap samples using ICP OES revealed concentration values for Ag and Au below the detection limit or, in one case, an Ag concentration of 2.4 mg/kg. The Nd concentrations were between 41 and 59 mg/kg.

The special investigation of the buildup of the steel fraction showed that gold was contained below the detection limit, if at all. Silver, neodymium and praseodymium contents were found.

The mixed metal fraction showed a copper content of 21 - to 37 % and a Fe content of 56 % - 71 %. The remainder consisted mainly of plastics and elastomers.

As expected, the alloys in the stainless steel fraction had high contents of Cr (16 % - 20 %) and Mo (0.1 % - 3 %).

Most of the SSF investigated consisted of glass and non-glass minerals. Plastics and elastomers also represented quantitatively relevant proportions. The concentration of Au was below the detection limit, that of Ag between 7 mg/kg and 65 mg/kg. The Nd content was between 11 mg/kg and 90 mg/kg or partly also below the detection limit. The Cu content was between 2,300 mg/kg and 26,000 mg/kg.

The SLF consisted mainly of plastics and elastomers, the proportion of minerals was approx. 20 %. Here, too, the Au concentration was below the detection limit, for Ag between 2 mg/kg - 13 mg/kg, Nd between 15 mg/kg to 31 mg/kg and Cu between 32,000 mg/kg and 43,000 mg/kg.

The SLF (sample 4) and SSF (sample 3) were tested for PBDE as brominated flame retardants, some of which are regulated in POP-VO (tetra- to hepta-BDE). When interpreting the data, note the following:

1) The evaluation of the brominated flame retardants is subject to the restriction that although the sampling was representative, the sampling and analysis were in part not representative.

2) In addition, the analysis of some parameters has not yet been clearly standardised.

3) After all, the SSF and SLF fractions examined are internal intermediate fractions which are not disposed of in this form but are subsequently subjected to further processing steps.

Conclusion: The PBDE test results can only serve as a first indication for PBDE contents of SSF and SLF fractions.

The SSF (sample 3) of company 1 contains concentrations of brominated flame retardants regulated in POP VO below the detection limit. The value for DecaBDE is also below the detection limit. The bromine content is also below the detection limit.

The situation with the SSF (sample 3) of company 2 only shows the difference of a DecaBDE value above the detection limit (mean value 410 mg/kg, median 325 mg/kg) and a Br_{total} value of 0.027 % by weight.

In the SLF (sample 4) of company 1, the values for the brominated flame retardants regulated in the POP regulation are also below the detection limit. Concentrations of 77 mg/kg (mean) and 66 mg/kg (median) were found for DecaBDE. The value for Br_{total} was below the detection limit.

In the SLF (sample 4) of company 2, the values for POP BDE are also below the detection limit. Concentrations of 1,400 mg/kg (mean) and 350 mg/kg (median) were found for DecaBDE. In line with this, the values for Br_{total} were 0.018 % by weight, higher than for company 1.

The low Br_{total} values found suggest that relatively low contents of other brominated flame retardants are also to be expected.

Overall, it was found that the concentrations of brominated flame retardants regulated in POP regulation are below the total POP regulation limit of 1,000 mg/kg. If DecaBDE is included as a regulated brominated flame retardant in the POP regulation, how the limit value is set will be important. The sum of the mean values of the previous POP-BDE plus DecaBDE would result in a concentration of over 1,000 mg/kg for the SLF in one of the two companies in the residual car body mono shredder trials, i.e. above the current POP-VO sum limit value.

Updating the basic data and methodology of end-of-life vehicle quota monitoring

The waste statistics of the German Länder and the Federal Statistical Office form the data basis for the determination of end-of-life vehicle recycling rates. The report to the European Commission includes the national quotas in accordance with § 5 Paragraph 1 End-of-Life Vehicles Ordinance.

Since Germany uses the method "Estimation of metal content" in accordance with Article 1 (2) (UBA & BMUB 2015), in which the recycled metal content in end-of-life vehicles is determined on the basis of a representative selection of vehicles and taken into account as a lump sum in the recovery quotas, a differentiation of the metallic and non-metallic end of life vehicle content must be made in the data collection for the recovery quotas. Since the metallic proportions are taken into account as

a lump sum in the recycling rate, a differentiation between recycling and energy recovery was only to be made for the non-metallic proportions.

The presentation of the recycling situation in the tables for reporting to the EU Commission provides for the output of shredder plants to be divided into "ferrous scrap (steel)", "non-ferrous materials (aluminium, copper, zinc, lead etc.)", "shredder light fraction (SLF)" and "others".

Since shredder plants treat not only car bodies from end-of-life vehicles but also other waste, the Federal Environment Agency calculates the data of the produced fractions into a proportion that originates from the residual car bodies and a proportion that originates from other input fractions.

For the light shredder fraction (in the sense of reporting), the statistical questionnaires are also used to determine whether it has ultimately been recycled, used for energy recovery or disposed of.

The methodology used and the results of the validation and updating of the basic data required for quota reporting are presented below. The basic data and assumptions given in the following table have been verified.

Literature research was carried out and discussions held with experts to review and update the listed data types. Where possible, the results of the end-of-life vehicle recycling and shredder campaign (see Chapter 2**)** and further information from the end-of-life vehicle recovery companies involved were used. In addition, some dismantling companies were asked about the practical data using a questionnaire.

Table 4: Checked basic data and assumptions

Data range	Data type	Value used in the 2013 Annual Report, previous procedure	Results of research projects
Basically	Average age of end-of-life vehicles	14 - 15 years	19.2 years in the campaign, 17.3 years as average value including evaluated literature; average value 18 years
	Average metal content of end-of-life vehicles	75.5 %	71.2 % - 76.6 %
Based on the input of the dismantling plants	Average incoming weight of end-of-life vehicles at the dismantling plant (for plausibility checks as to whether the data from DESTATIS reflect reality and whether the companies determine the weights correctly in accordance with the End-of-Life Vehicle Ordinance)	Vehicle weight according to vehicle registration document (corrected)	Weighted average vehicle weight: 1,028 kg Average end of life vehicle weight according to vehicle registration document: 980 kg Confirmation of these values from the weighed values of the end-of-life vehicles
Based on the output of the dismantling plants	Designation and quantification of the output streams, recycled and energy recovered non-metallic components of the output streams	The studies showed that the output flows of the dismantling companies deviated significantly in some cases from DESTATIS values (e.g. tyres, batteries) and in others from similar values (e.g. catalytic converters). However, the survey on masses of components in vehicles within the scope of the research project from other sources has also shown that in practice the masses per vehicle can indeed spread very widely and thus the mass flows can vary greatly depending on the input of the dismantling companies.	

	Utilization shares of residual car bodies exported abroad	In the future, in addition to the number of exported residual car bodies, the dismantling companies should specify the target countries in the surveys according to the Environmental Statistics Act. To this end, the waste statistics forms for the dismantling establishments should be amended accordingly. The quotas of the previous year according to EUROSTAT should be used to determine the recovery and recycling quotas of the target countries.	
	Monitoring relevance of the output	The study on the monitoring relevance of the output streams essentially confirmed the selection within the framework of UBA's monitoring and recommended the addition or deletion of some waste codes from the monitoring calculations.	
Based on the output of the shredder plants	Waste code numbers used for the light shredder fraction(s) or the fractions from their further treatment (post shredder technology, PST)	19 10 03*, 19 10 04	A determination on a catalogue of waste codes is hardly possible any more, since the PST differentiates partially in over 100 different fractions.
	Mass fraction of light shredder fraction(s) (SLF) resulting from residual car bodies	25 %	18 %
	Mass fraction of the heavy shredder fraction(s) (SSF) resulting from residual car bodies	n. d.	11 %
	Mass fraction of non-metallic shredder residues	n. d.	22.5 %
	Recycled and energetically recovered shares of the non-metallic shredder output	47.1 % recycling 48.9 % energy recovery (DESTATIS)	32 % recycling 60 % energy recovery

Related to the overall process	Amount of recycled metal content of end-of-life vehicles	97 %	99 %

The studies carried out have thus confirmed the basic data of the monitoring in essential areas. The large number of output fractions from the PST make it seem sensible from an expert's point of view to use a company-related survey of the disposal chains for end-of-life vehicles as a basis for monitoring. If necessary, the results of the operation-related quotas from certification as an end-of-life vehicle disposal system can also be used. The survey is conceivable in the context of batch tests.

High quality of end-of-life vehicle recycling

Since 2006, Germany has achieved the mass recycling and recovery rates of the German End-of-Life Vehicle Ordinance. Since 2010, Germany has even met the higher quotas of at least 95 % recovery and reuse to be achieved since 2015, of which at least 85 % is material recycling and reuse, even after adjustment for the quota-increasing after-effects of the environmental bonus.

However, it is assumed that especially for the fractions contained in the shredder light fraction (SLF), such as plastics, elastomers, glass and metal (cf. Duwe & Goldmann 2012) a recovery takes place in which the potentials of a high-quality secondary use are not exhausted (cf. Faulstich et al. 2015). At present, the disposal of shredder residues often takes place in recovery paths such as energy recovery or backfilling of mines or landfill construction, in which no material recycling or use of specific material properties of the materials contained takes place.

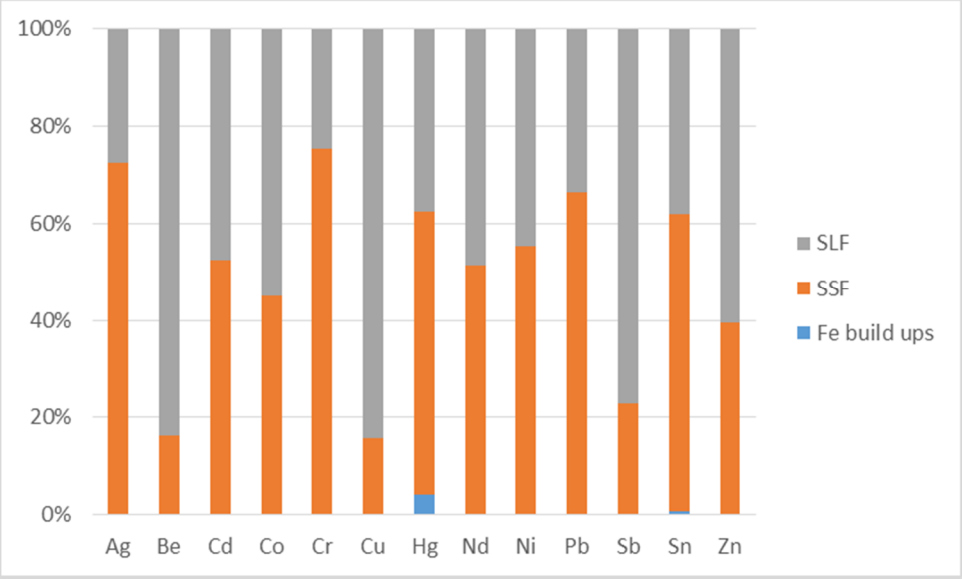
Against this background, the aim of this working step was to identify the potential for more high-quality end-of-life vehicle recycling and to formulate recommendations for measures to develop it. For this purpose

► a description of the whereabouts of the output fractions from the dismantling and shredder,
► the evaluation of the high quality of the recovery practice of the valuable materials contained in the shredder output fractions,
► the identification of previously untapped potentials for a higher-value utilization as well as
► the development of recommendations for action on the basis of the identified potentials

have been performed.

The end-of-life vehicle recovery and shredder campaign carried out and the chemical analysis revealed the distribution of the identified element masses among the output streams of the shredders as shown in Figure 4 and Table 5 shows the mass values.

Figure 4: Distribution of the identified element masses on shredder output streams



Source: own calculation and presentation

Table 5: Distribution of the identified element masses on shredder output streams (figures in kg/a)

element	Mass of Fe attachments	Mass from SSF	Mass from SLF
Ag	3	1.426,000	543,000
Be		9,000	45,000
Cd	1	291,000	265,000
Co	4	7,528	9,165
Cr	54	57,609	18,893
Cu	129	573,532	3,071,161
Hg	1	11,000	7,000
Nd	4	1,869	1,769
Ni	22	19,459	15,677
Pb	170	378,941	190,541
Sb	5	3,252	10,939
Sn	170	17,257	10,653
Zn	404	366,139	562,778

Fate of the output fractions

The currently practiced pathways cannot be explicitly identified from the statistics of DESTATIS. The final destination is not displayed. The collection of the masses, by the unit of measurement used of 1,000 t, is in line with the respective volume of the waste groups throughout Germany.

However, it is not taken into account that oil filters, for example, have significantly lower mass fractions than metallic components in end-of-life vehicles. Some waste codes are only used by a few dismantling companies.

As part of the research project, the whereabouts of the output fractions of the dismantling companies and shredders involved in the end-of-life vehicle recycling and shredder campaign as well as other dismantling companies were surveyed. The results were used as a basis for identifying weaknesses in the high quality of recycling.

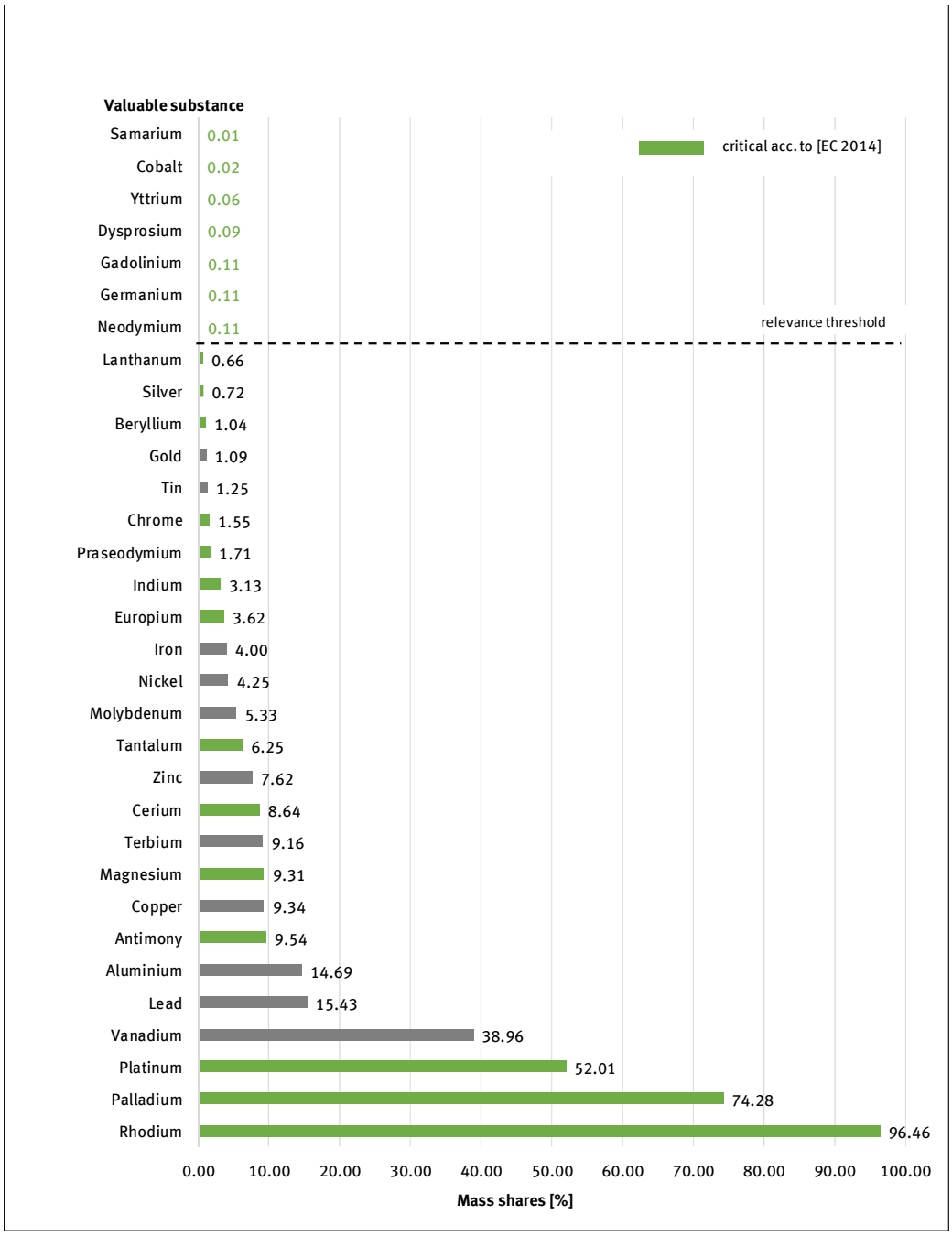
Evaluation of the high quality

To assess the current state of high quality in end-of-life vehicle recovery and identify existing untapped high quality potential, the relevant recyclables that may currently or in the medium term be contained in end-of-life vehicles were first identified. Vehicles can contain several thousand substances (cf. GADSL 2016). In the first work step, therefore, the focus of the observation had to be focused. On the basis of literature research and own evaluations, the relevant (valuable) substances and materials contained in end-of-life vehicles were identified as the basis for further investigations. Based on literature research, the mass relevance and criticality of the 51 substances or materials identified as relevant for current end-of-life vehicles were considered.

Figure9 summarizes the mass relevance of metallic components as a quotient of the respective global input quantity in vehicles in relation to the global production quantity of the respective material in

2014. As corresponding quantifying information on the elements gallium, manganese, niobium, scandium, titanium and ytterbium was not available, these elements were not included in the following graph. If a material is a critical raw material in the EU[3] (cf. COM 2014), this was indicated in colour. It becomes clear that the precious metals rhodium, palladium and platinum in particular are predominantly used in the automotive industry, while only about four percent of the steel (Fe) produced worldwide is used for the production of vehicles, for example.

Figure 5: Approximate mass fractions of metallic recyclables in vehicles in world production



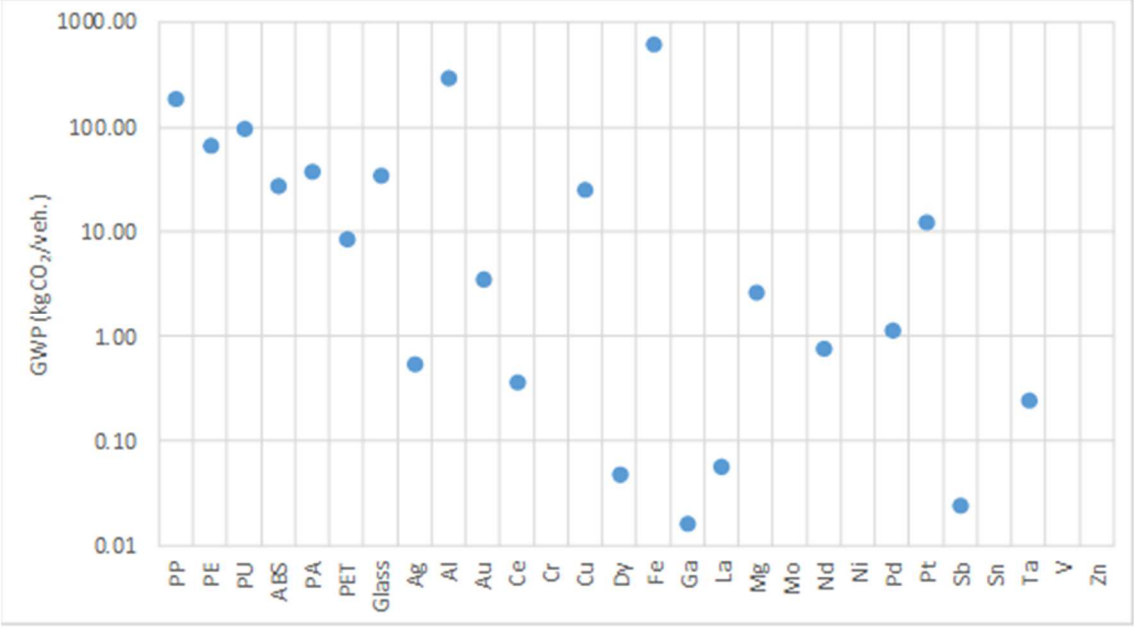
Source: own calculation and presentation

The relevance threshold for further consideration was set at 0.5 % of the share of the automotive industry, and thus the 25 metals from Figure 5. above this threshold as well as plastics and glass were examined in the following work steps.

For the identified materials above the relevance threshold, it was analysed in which components of the car they are predominantly used (main areas of application) and a substance-component matrix was created. Based on this, primary surveys and literature analyses were used to find out in which output fractions of the end-of-life vehicle treatment processes the respective components remain.

Subsequently, the environmental relevance of the materials used in vehicles was examined as a further basis for the development of recommendations. For this purpose, the focus was on the LCA sum parameter "Global Warming Potential" (GWP in kg $_{CO2}$). To this end, data on the global warming potential of the production of the respective materials (metals, plastics, glass) were researched and the specific GWP values were combined with the proportions by mass in vehicles. Due to the very different composition of passenger cars, such a compilation of average values is only a rough guide. It becomes clear that, with the exception of iron, copper and aluminium, the global warming potential of the metals used per vehicle is significantly lower than the GWP of the plastics PP, PU, PA, PE and ABS used (see Figure 6)

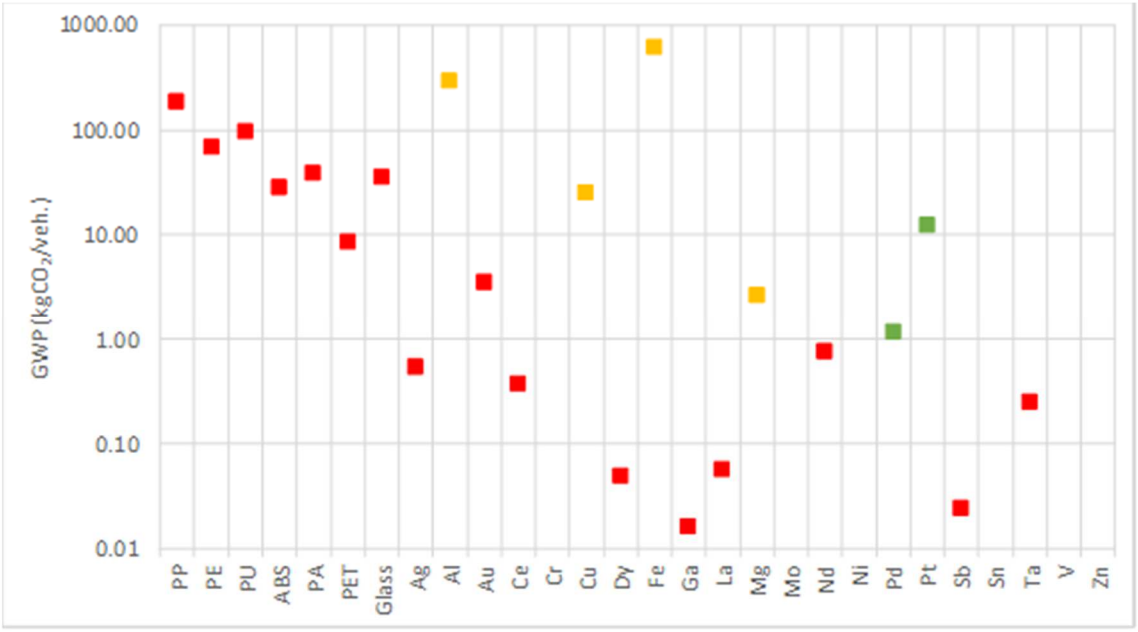
Figure 6: GWP of different materials per car



Data basis: Nuss 2014, PlasticsEurope 2016, UNEP 2013, Schmid 2015, Culbrand 2012; Information as far as data on the quantity per vehicle were available

The analysis of the current treatment and recovery of end-of-life vehicles revealed various potentials that have not yet been tapped, the development of which could lead to (higher quality) secondary use of various valuable substances contained in end-of-life vehicles. To this end, the high quality of the current recycling paths of the treatment fractions was examined. Figure 7 summarises the results of the evaluation of disposal practice with the environmental relevance of the materials contained in end-of-life vehicles (see chapter 5.5**).**

Figure 7: GWP of different materials per passenger car and evaluation of possible weak points with regard to the high quality of recycling



Data basis: Nuss 2014, PlasticsEurope 2016, UNEP 2013, Schmid 2015, Culbrand 2012, data as far as data on the quantity per vehicle were available

There are major weak points and thus particularly great potential for improvement in the direction of high quality in the plastics contained in vehicles, for all types of plastic considered. The same applies to the vehicle glass. As a result, they should play at least as important a role in the search for optimisation approaches for recycling practice as precious and special metals, for example. In the area of the mass metals iron, copper and aluminium, there is medium potential for improvement, which should also be better exploited due to the ecological quantity relevance of these metals. Another striking feature is the high relevance of neodymium, which lies between gold and silver and will become even more relevant with the future increase in the end-of-life vehicle sector (Groke et al. 2015).

Approaches to the optimisation of current recycling practice

The approaches outlined below address the weaknesses of current exploitation practice and aim at their optimisation through the design and use of improved recovery paths. They address in particular the materials identified as relevant: plastics and glass, mass metals such as iron, aluminium and copper as well as precious metals.

- Further requirements for dismantling
  The Annex to the End-of-Life Vehicle Ordinance contains in Section 3.2.3.3 dismantling obligations for certain recyclable components for the purpose of reuse or recycling. From an expert's point of view, at least for the main cable harness the copper dismantling obligation should be absolutely formulated and no alternative option for separation during or after shredding should be opened up, as currently determined in the End-of-Life Vehicle Ordinance.
  In order to provide the dismantling companies with the necessary flexibility, no specific components should be required to be dismantled, but a list of typical addressed components, analogous to the example list for large plastic components in No. 3.2.3.3 of the Appendix to the End-of-Life Vehicle Ordinance, is possible.
  In this context, it is recommended to achieve a harmonised approach at European level, i.e. to

include appropriate requirements in the End-of-Life Vehicles Directive where possible. However, it could also be implemented at national level.
For plastic parts and glass, existing plant permits which allow an exemption from the dismantling obligation should be checked under ecological aspects and, if necessary, revoked.

- To optimise aluminium recycling, a separation obligation for wrought aluminium alloys should be included in the End-of-Life Vehicle Ordinance.
- In addition, it is considered sensible to limit the metal content of those fractions that go into backfilling, are used for energy recovery or are disposed of.

1 Hintergrund und Aufgabenstellung

Altfahrzeugverwertungsquoten

Für die Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten nach der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG in Deutschland wurde Anfang der 2000er Jahre eine Methodik entwickelt, die erstmals für das Berichtsjahr 2004 angewendet wurde. Sie basiert auf einer Erhebung der Input- und Outputströme der Altfahrzeug-Demontagebetriebe sowie der Altfahrzeug-behandelnden Schredderbetriebe im Rahmen der Abfallstatistik nach Umweltstatistikgesetz. Das Umweltbundesamt nutzt die vom Statistischen Bundesamt aggregierten Daten und ermittelt daraus die Altfahrzeug-Verwertungsquoten für Deutschland. Dieses Berichtssystem ist mit geringem Erfassungsaufwand für die Schredderbetreiber verbunden, deren Input sich aus einem Mix aus Altfahrzeugen und anderen metallhaltigen Abfällen zusammensetzt, und arbeitet mit einigen Annahmen und Schätzungen, insbesondere, was den Anfall der Schredderleichtfraktion aus der Behandlung der Altfahrzeuge betrifft.

Seit nunmehr 10 Jahren werden die Verwertungsquoten für Altfahrzeuge mit unveränderter Methodik ermittelt. Damit ist der Bedarf nach einer Evaluierung und ggf. Aktualisierung entstanden, um die Methodik, Systematik und Datengrundlagen an die technischen und rechtlichen Entwicklungen der letzten Jahre anzupassen.

Die Kommissionsentscheidung 2005/293/EG[5] sieht vor, dass zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten auch Schredderkampagnen durchgeführt werden[6]. Die Durchführung entsprechender Schredderkampagnen wird durch einen Leitfaden der Kommission aus dem Jahr 2012 (Ökopol 2012b) und ein zugehöriges Hintergrunddokument (Ökopol 2012a) unterstützt.

Da sich die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen in den letzten 10 Jahren weiter entwickelt haben, wurde eine Aktualisierung, Fortschreibung und ggf. Anpassung der Datengrundlagen sowie der Monitoringmethode für die EU-Berichtspflichten unter der Altfahrzeug-Richtlinie als notwendig gesehen.

Hochwertigkeit der Altfahrzeugverwertung

Die seit dem Jahr 2006 geforderten Recycling- und Verwertungsziele der Altfahrzeug-Richtlinie sowie die ab 2015 zu erreichenden Quoten von mindestens 95 % Verwertung und Wiederverwendung, davon mindestens 85 % stoffliche Verwertung und Wiederverwendung, hielt Deutschland stets ein. Gleichzeitig wurde gesehen, dass die Hochwertigkeit der Verwertung sowie die Ressourceneffizienz der Altfahrzeugverwertung verstärkt in den Fokus zu nehmen ist und Verbesserungspotenziale erschlossen werden können.

Ziel

Ziel des Vorhabens war es vor diesem Hintergrund, die Datengrundlagen für das Monitoring der Altfahrzeugverwertungsquoten nach der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG auf nationaler Ebene zu aktualisieren und die Datenqualität zu verbessern.

---

[5] Entscheidung der Kommission vom 1. April 2005 zur Festlegung der Einzelheiten für die Kontrolle der Einhaltung der Zielvorgaben für Wiederverwendung/Verwertung und Wiederverwendung/Recycling gemäß der Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Altfahrzeuge (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2004) 2849), OJ L 94, 13.4.2005, p. 30–33

[6] Siehe Anmerkung 6 im Anhang der Kommissions-Entscheidung 2005/293/EG: „6. Die Ausgangsströme von Altfahrzeugen aus einer Schredderanlage werden berechnet auf der Grundlage der Schredderkampagnen in Kombination mit den Eingangsströmen von Altfahrzeugen in eine Schredderanlage. … Die Mitgliedstaaten erstatten der Kommission Bericht über die Zahl der auf ihrem Hoheitsgebiet durchgeführten Schredderkampagnen. …“

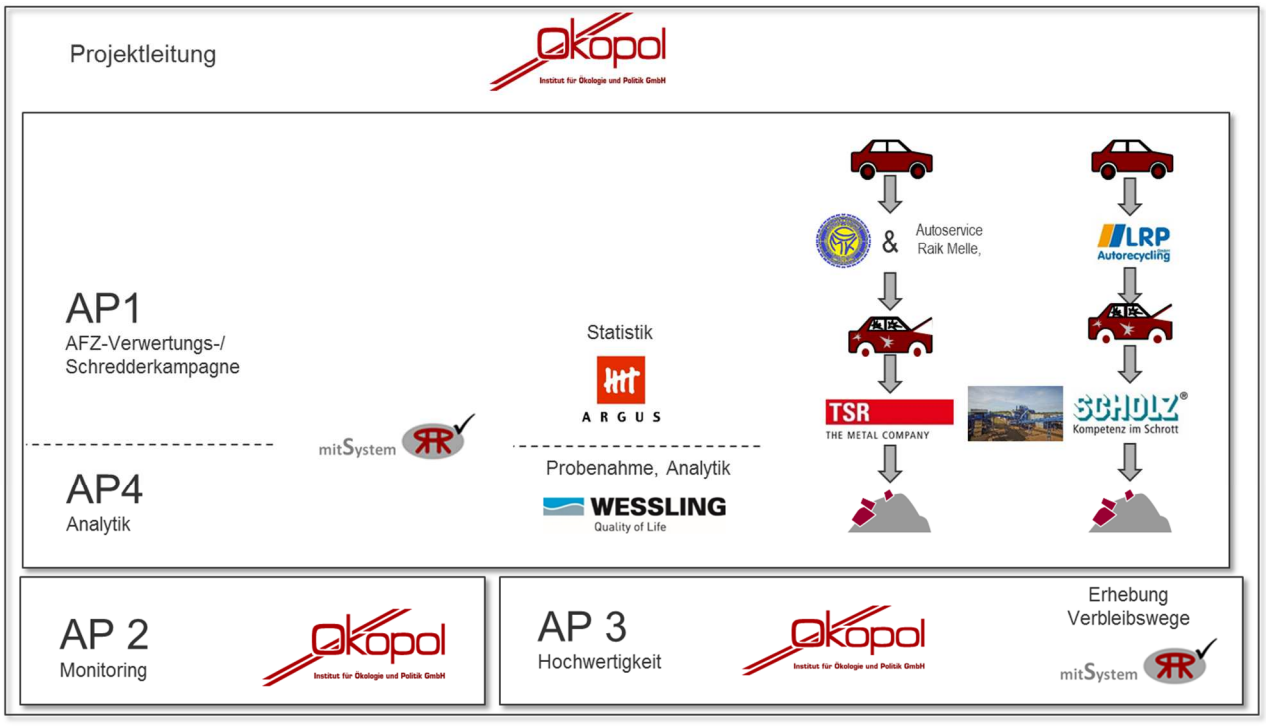
Methodisch wurde das Forschungsvorhaben in vier Teilbereiche untergliedert:

- AP 1 Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne: Eine für die deutsche Altfahrzeugverwertung repräsentative Schredderkampagne bzw. Altfahrzeugverwertungskampagne wurde unter Bezugnahme auf die EU-Vorgaben konzipiert, vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet.
- AP 2 Fortschreibung der Monitoring-Methode und der Grunddaten: Die genutzten Daten für das Monitoring der Altfahrzeugverwertung wurden auf der Grundlage der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne sowie weiterer Untersuchungen aktualisiert und evaluiert. Es wurden Empfehlungen zur Fortschreibung der Methode unterbreitet.
- AP 3 Potenziale in der Altfahrzeugverwertung: Für die Outputfraktionen der Demontagebetriebe und Schredderanlagen erfolgte eine Untersuchung zu Potenzialen einer höherwertigen Verwertung und der Steigerung der Ressourceneffizienz.
- AP 4 Ausgewählte Schad-/ Wertstoff-Analysen: Als ein Input für die Untersuchungen zu den Potenzialen einer hochwertigen Verwertung wurden chemische Analysen der Schredderoutputfraktionen aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne durchgeführt.

Es wurde ein projektbegleitender Beirat eingerichtet, in dem das Vorgehen und die Ergebnisse mit Stakeholdern diskutiert wurden.

Die Abbildung 8 zeigt einen Überblick über die Projektstruktur und das Projektteam.

Abbildung 8: Übersicht Projektstruktur und Projektteam



2 Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne

2.1 Einführung

Wesentliche Eckpunkte für die Durchführung einer Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne im Rahmen des Forschungsvorhabens ergeben sich aus der Kommissionsentscheidung 2005/293/EG zur EG-Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG. Diese Entscheidung, die methodische Hinweise zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten gibt, sieht vor, dass zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten in den Mitgliedstaaten auch Schredderkampagnen durchgeführt werden sollen, siehe Anmerkung 6 im Anhang der Kommissions-Entscheidung (2005/293/EG):

> *„Die Ausgangsströme von Altfahrzeugen aus einer Schredderanlage werden berechnet auf der Grundlage der Schredderkampagnen in Kombination mit den Eingangsströmen von Altfahrzeugen in eine Schredderanlage. … Die Mitgliedstaaten erstatten der Kommission Bericht über die Zahl der auf ihrem Hoheitsgebiet durchgeführten Schredderkampagnen.“ (2005/293/EG)*

Außerdem wird dieser Entscheid zur Durchführung entsprechender Schredderkampagnen durch einen Leitfaden der Kommission sowie ein weiteres Hintergrunddokument hinterlegt. (Ökopol, 2012a), (Ökopol, 2012b).

2.2 Aufgabenstellung und Vorgehen

Aufgabe in diesem Arbeitspaket war es, eine repräsentative Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne unter Bezugnahme auf die EU-Vorgaben zu konzipieren, vorzubereiten, durchzuführen und auszuwerten. Hierzu wurden in einem ersten Arbeitsschritt vorhandene Kampagnen und Studien recherchiert (siehe Kapitel 2.5.1) und das Ergebnis inhaltlich um Aspekte einer zusätzlich durchgeführten Expertenbefragung (siehe Kapitel 2.5.2) ergänzt. Die resultierenden Ergebnisse flossen zusammen mit den Vorgaben des Kommissionsleitfadens (Ökopol, 2012b) in ein Durchführungskonzept ein. Entsprechend der Hauptfragestellungen (siehe Kapitel 2.3) umfasste es die Auswahl der einzubeziehenden Betriebe, die Altfahrzeug-Stichprobe im Hinblick auf Umfang und Repräsentativität sowie den detaillierten Versuchsablauf. Für die beteiligten Betriebe wurde eine Informationsveranstaltung zur Vorstellung des Konzeptes und Vorbereitung der Versuche organisiert.

Entsprechend dem Durchführungskonzept wurde die Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne durchgeführt (siehe Kapitel2.8). Dies geschah nach Auswahl der Anlagen in zwei Monoversuchen. Die hierfür ausgewählten Betriebe wurden von der ersten Kontaktaufnahme bis hin zur Auswertung der Kampagne begleitet. Dazu zählten sowohl das Bereitstellen von einheitlich Dokumentationsunterlagen und -anleitungen als auch die eigentliche Durchführung des Versuches.

2.3 Untersuchungsbedarf (Hauptfragestellungen) der Altfahrzeug- und Schredderkampagne

Diese Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne validiert und aktualisiert die in Tabelle 6 dargestellten Hauptfragestellungen.

Tabelle 6: Hauptfragestellungen der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne

Untersuchungsbereich	Untersuchungsbedarf im Projekt	Mit Verwertungskampagne zu beantworten
Allgemeines	Durchschnittsalter der Altfahrzeuge	(ja) Einschränkung: das im Rahmen der Kampagne erfasste Durchschnittalter muss nicht zwingend eine repräsentative Basis widerspiegeln → siehe Kapitel 2.9.1, 2.12.2, 4.3.1.3
	Informationen über die Verbleibs- und Verwertungswege	Ja, für die Fraktionen, die in der Kampagne und einer zusätzlichen Befragung erfasst wurden → siehe Kapitel 2.9.2.1, 2.9.3.1, 5.3.3
Demontage	Art der Erfassung des Ersatzteilverkaufs im statistischen Erhebungsbogen	(ja) Einschränkung: die Angaben der beteiligten drei Demontagebetrieben lassen keine Hochrechnung zu → siehe Kapitel 2.9.2.3
	Outputströme der Demontagebetriebe, die aus dem Altfahrzeug stammen und quotenrelevant sind (z. B. nicht: verunreinigte Putzlappen)	Die Outputströme wurden erfasst und hinsichtlich ihrer Quotenrelevanz überprüft. → siehe Kapitel 2.9.2.1, 4.3.3.1
Schredder	Anteil der Schredderleichtfraktion, der aus der Altfahrzeugbehandlung entstammt, beim Betrieb eines Schredders mit Mischinput	Ja → siehe Kapitel 4.3.5.4
	Metallgehalt eines Fahrzeugs auf der Grundlage der Outputströme aus der Kampagne	Ja → siehe Kapitel 2.9.4, 4.3.6.2
	Metallausbringen über die Verwertungskette	Ja → siehe Kapitel 4.3.6.3
	Für die Schredderleichtfraktion genutzte Abfallschlüssel	Ja → siehe Kapitel 2.9.3.4
	Berechnung der Ausgangsstromverteilung der Schredderanlagen für den Betrieb mit Altfahrzeugen	Ja → siehe Kapitel 2.9.3
Zusammensetzungen	Wert- und Schadstoffgehalte der Schredderoutput-Fraktionen	Ja, durch chemische Analysen → siehe Kapitel 3

2.4 Überblick der beteiligten Unternehmen

Die Durchführung der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne erfolgte durch ein Projektteam aus Unternehmen der Umweltberatung, Experten der Umweltsystemtechnik und Statistik, Analytik, Recyclingtechnik sowie Schredder- und Demontagebetriebe. Abbildung 9 stellt die beteiligten Unternehmen mit ihren Handlungsfeldern dar.

Abbildung 9: Beteiligte Unternehmen

Projektleitung	ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH		
Demontage	LRP Autorecycling; Autoservice Raik Melle; Fahrzeugdaten Demontage Verwiegen Verbleibswege Definition Normalbet rieb	mitSystem; Vorbereitung Dokumentation Verifizierung Datenerweiterung	ARGUS; Festlegung Stichprobe; Bewertung Stichprobe
Schredder	SCHOLZ Kompetenz im Schrott; TSR THE METAL COMPANY; Erfassung Zustand Restkarossen Schreddern Aufbereitung SLF SSF Verbleibswege Definition Normalbetrieb	Vorbereitung Dokumentation Verifizierung Datenerweiterung	Bewertung Stichprobe; Quotenberechnung
Analytik	WESSLING Quality of Life; Probenahme Analytik (chemisch, optisch)	Verifizierung Datenerweiterung	Bewertung Relevanz; Quotenberechnung Potentialbewertung

2.5 Recherche zu bisherigen Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagnen und Methodiken

Zur Konzipierung und Vorbereitung der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne wurde eine Literaturrecherche zu bisherigen Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagnen durchgeführt und um eine Expertenbefragung ergänzt. Die Expertenbefragung unterteilte sich in die Hinterfragung weiterer Kampagnen und eventuell vorliegender Antworten in Bezug auf die Hauptfragestellungen. Zur Planung der Kampagne wurde insbesondere im Rahmen der Literaturrecherche Augenmerk auf folgende Fragestellungen gelegt:

- Welche Beteiligten gab es bei der Kampagne?
- Welche Hauptfragestellungen wurden untersucht?
- Welche Systemgrenzen wurden festgelegt?
- Mit welcher Vorgehensweise wurde die Kampagne konzipiert?
- Welche Anlagen/Verfahren wurden einbezogen?
- Welche Ergebnisse lagen vor?

2.5.1 Literaturrecherche zu Schredderkampagnen

Um Hinweise für die konzeptionelle und praktische Ausgestaltung der eigenen Kampagne zu gewinnen, wurde eine Literaturrecherche zu früheren in- und ausländischen Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagnen über ein Screening von Literatur-Datenbanken und Expertenhinweisen durchgeführt. Dabei wurden zunächst alle verfügbaren Studien zu durchgeführten Schredderversuchen herangezogen und die Relevanz der Quellen im Hinblick auf die Frage der Auswahl der einzubeziehenden Demontage- und Schredderanlagen und der Auswahl der Altfahrzeug-Stichprobe betrachtet.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über für dieses Projekt relevante Ergebnisse aus den Studien und Abschlussberichte zu Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagnen.

Tabelle 7: Literatur zu Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagnen

Veröffentlichung, Autor, Jahr	Auftraggeber, Rolle	Hauptfragestellungen	Systemgrenzen	Vorgehensweise	Einbezogene Anlagen/ Verfahren	Ergebnisse	Art und Anzahl der Fahrzeuge bei Schredderkampagne
Moakley, Weller, Zelic, Rosendahl & Holly, 2010	Worcester Polytechnic Institute (USA), RenoSam (Verband der interkommunalen Entsorgungsunternehmen, Dänemark)	Alternative Behandlungen von Schredderabfällen zur Einhaltung der EU-Altfahrzeugverwertungsquote		Literaturrecherche, Interviews mit dänischen Schredderunternehmen	Generelle Übersicht über Anlagen und Verfahren in Europa und den USA; u. a. Scholz Recycling, R-Plus (WESA-SLF); VW Sicon Prozess; Galloo, Vergasung, Pyrolyse, Mitverbrennung	Durch Besteuerung des Deponieanteils wird Post-Schredder-technologie wirtschaftlich	
van Veldhuizen & van Burik, 2007	Autorecycling Nederland BV (Industrie/ Wirtschaftsbeteiligte)	Verringerung der Deponierückstände ab 2007 bis 2015	Inkl. Demontagebetriebe		VW Sicon Prozess, mechanische Behandlungsanlagen: FlipFlop-Sieb, Zyklone, Zick-Zack-Sichter, Wirbelstromabscheider	22 % Wiederverwendung 61 % Recycling 85,2 % Rückgewinnungs- und Recyclingquote	

Veröffentlichung, Autor, Jahr	Auftraggeber, Rolle	Hauptfragestellungen	Systemgrenzen	Vorgehensweise	Einbezogene Anlagen/ Verfahren	Ergebnisse	Art und Anzahl der Fahrzeuge bei Schredderkampagne
Schneichel, 2006	Wirtschaftskreis Altfahrzeuge (Wirtschaftsbeteiligte), Deutschland	Wirtschaftsbeteiligte prüfen Quotenerfüllung in Deutschland. Feststellung des wiederverwendeten und verwerteten Metallanteils, Feststellung des Anteils der entnommenen Flüssigkeiten, Feststellung des nichtmetallischen Anteils wiederverwendeter Bauteile	Inkl. Demontagebetriebe; weitgehend vollständige und nicht vordemontierte Fahrzeuge	Laufzettel, technische Daten aus den Fahrzeugpapieren, Dokumentation fehlender und demontierter Teile sowie Angaben über die entnommenen Flüssigkeiten, Kennzeichnen jedes Fahrzeuges mit einer durchlaufenden Versuchsnummer, Grad der Demontage war in den Betrieben unterschiedlich, keine Glasscheiben und große Kunststoffteile ausgebaut, getrennt geschreddert nach Demontagebetrieben und Restkarossen mit und ohne Motor und Getriebe	Schredder Wilhelmshafen, Demontagebetriebe: ARC Auto-Rückbau-Centrum GmbH, Fa. Birkenfeld, Fa. Retek Drei Demontagebetriebe aus Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen	Metall insgesamt zur Summe Fahrzeugleergewicht 76 %. Verwertungsquote insgesamt 87,1 % (ohne Bergversatz). Durchschnittsalter: Unbekannt	Hauptmarken der Altfahrzeuge: VW, Opel, Ford Anzahl: 396

Veröffentlichung, Autor, Jahr	Auftraggeber, Rolle	Hauptfragestellungen	Systemgrenzen	Vorgehensweise	Einbezogene Anlagen/ Verfahren	Ergebnisse	Art und Anzahl der Fahrzeuge bei Schredderkampagne
BMW AG, 2009, Kummer & Scholz-Recycling GmbH, 2008	BMW, Galloo Plastics S.A., TÜV Nord, Bergakademie Freiberg	Kampagne zum Nachweis der Recyclingfähigkeit nach RL (2005/64/EG) für Neufahrzeuge ab 2008 den Nachweis zur Sicherstellung der Recyclingfähigkeit von 85 % und der Verwertbarkeit von 95 % ab dem Jahr 2015, Kunststoffe	Inkl. Demontagebetriebe	Vorbehandlung, Schredderprozess, Aufbereitung der Schredderrückstände	Recycling und Demontage Zentrum (RDZ) – der BMW Group, Scholz Recycling	95 % Verwertungsquote	501 Vorserienfahrzeuge
Gaillot & McCormack, 2009	Environmental Protection Agency, Ireland (Auftraggeber) RPS Consulting Engineers, West Pier Business Campus, (Ausführung)	Schätzung des Metallgehaltes, Unterstützung der Quotenmeldung	Inkl. Demontagebetriebe	Altfahrzeugprobe, Demontage, Schredder, Analyse	Anlage in County Westmeath (Sammlung und Demontage), Anlage in Dublin City (Schredder)	70,4 % Metallgehalt (ohne Kraftstoff) bezogen auf das anfängliche Gewicht, 76,69 % Recyclingquote bezogen auf das Durchschnittsgewicht	100 repräsentative Altfahrzeuge
R.P.S. Colsulting, 2013	Department of Environment, Community & Local Government, Ireland (Staatliche Behörden)			Beschreibung der Altfahrzeugverwertung in Irland			

Veröffentlichung, Autor, Jahr	Auftraggeber, Rolle	Hauptfragestellungen	Systemgrenzen	Vorgehensweise	Einbezogene Anlagen/ Verfahren	Ergebnisse	Art und Anzahl der Fahrzeuge bei Schredderkampagne
Collins, Fanning, Crowe & Meaney, 2002	Environmental Protection Agency					keine definitive Möglichkeit zur Schätzung des Altfahrzeugaufkommens in Irland	
Schubert, Jäckel & Suhm, 2006	SCHOLZ AG, TU Bergakademie Freiberg, PÜG, Gaufelden, Bausch-Engineering, Kummer Umweltkommunikation	Leistungsfähigkeit der installierten SLF-Anlage im Rahmen der Aufbereitung „reiner“ Altfahrzeugschrotte überprüfen; Quote ermitteln	Ohne Demontagebetriebe	handhabbare Erfassung einer repräsentativen Probe auf der Basis der Verwertungsnachweise, Parameter: Hersteller, Zulassungsjahr, Gewicht; 2 separate Versuchschargen (Altfahrzeuge ohne bzw. mit Motor + Getriebe) aufgeteilt und behandelt	Scholz AG, Sächsische Recyclingwerke Espenhain, Shredderwerke Herbertingen	Verwertungsquote für die Schredderanlage ohne Postschreddertechnologie: 75 %	Anzahl: 500
Sogeti, 2010	Sogeti (Unternehmensberatung)	Probenahme von Schredderanlagen Repräsentativität der Altfahrzeugprobe Einbeziehung der Demontagebetriebe Import/Export-Einflüsse		Zusammenfassung der nationalen Erfahrungen mit der Leitung von Schredderkampagnen	Frankreich, Österreich, Großbritannien, Niederlande, Belgien	Ausführliche Beschreibung der Planung einer Kampagne	

Veröffentlichung, Autor, Jahr	Auftraggeber, Rolle	Hauptfragestellungen	Systemgrenzen	Vorgehensweise	Einbezogene Anlagen/ Verfahren	Ergebnisse	Art und Anzahl der Fahrzeuge bei Schredderkampagne
		Stichprobengröße der Altfahrzeuge					
SIGRAUTO, 2010	Spanish Association of Dismantlers and Auto Recycling (AEDRA), Spanish Recycling Federation (FER); Firmenkonsortium	Quotenermittlung, Repräsentativität	Inkl. Demontagebetriebe	Beginn des Versuchs: März 2009 Ende des Versuchs: Mai 2010 Anzahl der durchgeführten Vorbereitungs- und Kontrollbesuche: 42	Anzahl der teilnehmenden Demontagebetriebe: 10 Anzahl der beteiligten Schredderbetriebe: 8		Anzahl: 1.110
Davison & Pocklington, 2015	Mayer environmental; Department for Business, Innovation & Skills (BIS); The Society of Motor Manufacturers and Traders (SMMT) Vereinigtes Königreich	Quotenbestimmung für 2015, Metallgehalt, Schredderleichtfraktion, Schredderschwerfraktion, Gute Massenbilanz	Ohne Demontagebetriebe, Schredder + Post-Schredder-Anlage	Altfahrzeug wurde inspiziert und gewogen, Details aufgezeichnet, demontiert und gepresst. Nach erforderlichem Transport Fahrzeuge geschreddert. Fraktionen händisch beprobt und ausgewertet. Anschließend Transport der Schredderschwerfraktion zwecks Aufbereitung zur Post-Schredder-Anlage. Danach beprobt und verwogen	EMR's Willesden facility (Schredder) EM Newmarket Depot (Post-Schredder-Anlage)	74.76 % Metallgehalt des Altfahrzeuges (65.53 % Eisen- und 9.23 % Nicht-Eisenmetalle), Massenbilanz ohne Angabe der Abweichung	Anzahl: 400

Veröffentlichung, Autor, Jahr	Auftraggeber, Rolle	Hauptfragestellungen	Systemgrenzen	Vorgehensweise	Einbezogene Anlagen/ Verfahren	Ergebnisse	Art und Anzahl der Fahrzeuge bei Schredderkampagne
Felsenstein, 2006	Network Management and IT Services GmbH (NetMan)	Stichprobenplan und statistische Auswertung zum Erstellen einer Schredderbilanz	Mit Demontage	Fahrzeuge nach Altfahrzeugverordnung vorbehandeln; Einzel- oder Gruppenverwiegung; Sammeln; Bestimmung der Stichprobengröße markenscharf nach Größenklassen und mit/ohne Motor/Getriebe unter Berücksichtigung der Mengen aus dem Vorjahr.	6 Schredderanlagen		Anzahl: 258

2.5.2 Expertenbefragung

Zur Vorbereitung und Konzipierung der eigenen Kampagne wurden ergänzend fünf Experten aus folgenden Tätigkeitsfeldern befragt:

- Schredderanlage (2 Experten),
- Altfahrzeugdemontagebetrieb (1 Experte),
- Gutachter nach Altfahrzeugverordnung (2 Experten).

Die unabhängigen Experten waren keine Projektteilnehmer. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt differenziert nach den Hauptfragestellungen entsprechend Kapitel 2.3.

2.5.2.1 Allgemeines

Das Durchschnittsalter der Altfahrzeuge, die in den Demontagebetrieben angenommen werden, wurde durchweg als stetig zunehmend wahrgenommen. Ein aktuelles Durchschnittsalter könne mit 14-15 Jahren angenommen werden. Ein Altfahrzeugdemontagebetrieb führte für das Jahr 2015 ein Alter der angenommenen Altfahrzeuge von 17 Jahren an.

2.5.2.2 Demontage

Hintergrund der Fragestellung war unter anderem die Aufteilung von Outputströmen in stoffliche und energetische Verwertung sowie in Metall- und Nichtmetallanteil. Von den Befragten wurde angegeben:

- Die Demontage von Glas und großen Kunststoffteilen erfolgt überwiegend nicht. Hier liegen in der Regel Einzelfallgenehmigungen für eine Ausnahme von den generellen Anforderungen der Altfahrzeugverordnung vor.
- Die Demontage von Elektronikbauteilen erfolgt teilweise. Angebote zur wirtschaftlichen Veräußerung liegen vor und werden genutzt. Die Demontage von Stellmotoren erfolgt nicht. Umfangreichere Demontagen scheitern an der nicht gegebenen Wirtschaftlichkeit.
- Die differenzierte Veräußerung von Metallen wird als rückläufig eingeschätzt. Die Demontage des Antriebsstrangs ist technisch einfach realisierbar und war in der Vergangenheit wirtschaftlich sinnvoll. Durch den aktuellen Verfall der Schrottpreise sei die Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben. Darüber hinaus bevorzugen die Schredderbetreiber die Annahme vollständiger Restkarossen und forcieren dies auch durch finanzielle Anreize.
- Die Veräußerung von Ersatzteilen ist rückläufig. Hierfür gibt es vier Begründungen:
  - Die Anzahl der Anbieter für die Übernahme von Bauteilen zur Aufbereitung ist rückläufig.
  - Die Qualität der Fahrzeuge hat zugenommen und die Bauteile versagen zeitlich gleich.
  - Die Komplexität insbesondere des Motors hat immens zugenommen und ein Austausch ist für einfach ausgestattete Reparaturwerkstätten nicht mehr lösbar.
  - Das Käuferverhalten hat sich durch den Online Handel insofern verschlechtert, dass die Anzahl der unbegründeten Rücksendungen massiv angestiegen ist.

2.5.2.3 Schredder

Der Anteil der Schredderleichtfraktion, die aus der Altfahrzeugbehandlung entstammt, wird bisher mit einer Masse im Umfang von 25 % des Gewichts der in den Schreddern behandelten Restkarossen (aus dem Inland) abgeschätzt.

- Eine Abschätzung zu dem Gewichtsanteil der Schredderleichtfraktion konnte nicht erhoben werden.

- Das Glas geht überwiegend in den Schredderprozess und kann durch die Sortiertechnik nicht als Glasfraktion ausgeschleust werden sondern wird als Teil der mineralischen Fraktion entsorgt.
- Zur Höhe des verwerteten Anteils des Metallgehalts der Fahrzeuge bei der Bestimmung der „Schätzung des Metallgehalts“ wurde angegeben:
  - Eine weitergehende differenzierte Verwertung der Fe-Fraktion hat sich bisher nicht entwickelt. Die Entwicklungen im Bereich der Aluminium-Aufbereitung wurden positiv wahrgenommen und auch durch Veräußerung des Stoffstroms an die sich entwickelten Strukturen der Aufbereitungsunternehmen genutzt.
  - Der Metallgehalt der Restkarossen ohne Motor und Getriebe wird als rückläufig eingeschätzt. Eine Quantifizierung war nicht verfügbar.
  - Leiterplatten und Platinen aus Restkarossen, werden auch in den Großschreddern teilweise als Outputfraktion separat erfasst. Die differenzierte Erfassung ist dort aktuell wirtschaftlich.
  - Die größeren Stellmotoren werden in der Handklaubung separiert.

2.5.3 Leitfaden der EU-Kommission zu Altfahrzeug-Schredderkampagnen

Im Leitfaden der EU-Kommission (Ökopol, 2012b) wird die Planung einer Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne beschrieben. Dabei ist zunächst vorgesehen, dass die beteiligten Betriebe in einer frühen Phase des Projektes festgelegt werden. Die Vielfältigkeit durch Schreddertechnologie, Auslastung der Anlagen und Altfahrzeugdemontagebetriebe schränke die Auswahl repräsentativer Anlagen ein. Mit Hilfe eines Koordinators soll daher der ausreichende Informationsaustausch zwischen den Projektpartnern gewährleistet werden. Außerdem sollen durch den Koordinator eine die gesamte Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne umfassende Auditierung der Schredderkampagne und eine Literatur- und Datenbankrecherche durchgeführt werden.

Die Abhängigkeit der Art und Anzahl der zu verwertenden Altfahrzeuge in der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne wird in diesem Leitfaden beschrieben. Die benötigte Anzahl hängt von Umfang und Qualität der jährlich anfallenden Altfahrzeuge ab, die aus statistischen Abfragen der Verwertungsbetriebe und zusätzlichen Befragungen ermittelt wird und von den Exporteinflüssen, vorübergehenden Abmeldungen und der Marktdynamik abhängt. Der Leitfaden beinhaltet außerdem Anweisungen zur Festlegung der Systemgrenze und zur Durchführung der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne (Ökopol, 2012a), (Ökopol, 2012b).

2.5.4 Schlussfolgerungen der Recherchen für die eigene Schredderkampagne

Die gewonnenen Kenntnisse aus der Auswertung der Literatur- und Datenbankrecherche, der Expertengespräche und des Methodikleitfadens der EU-Kommission für Schredderkampagnen waren Grundlage für die Planung der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne. Im Ergebnis wurden folgende Bereiche berücksichtigt:

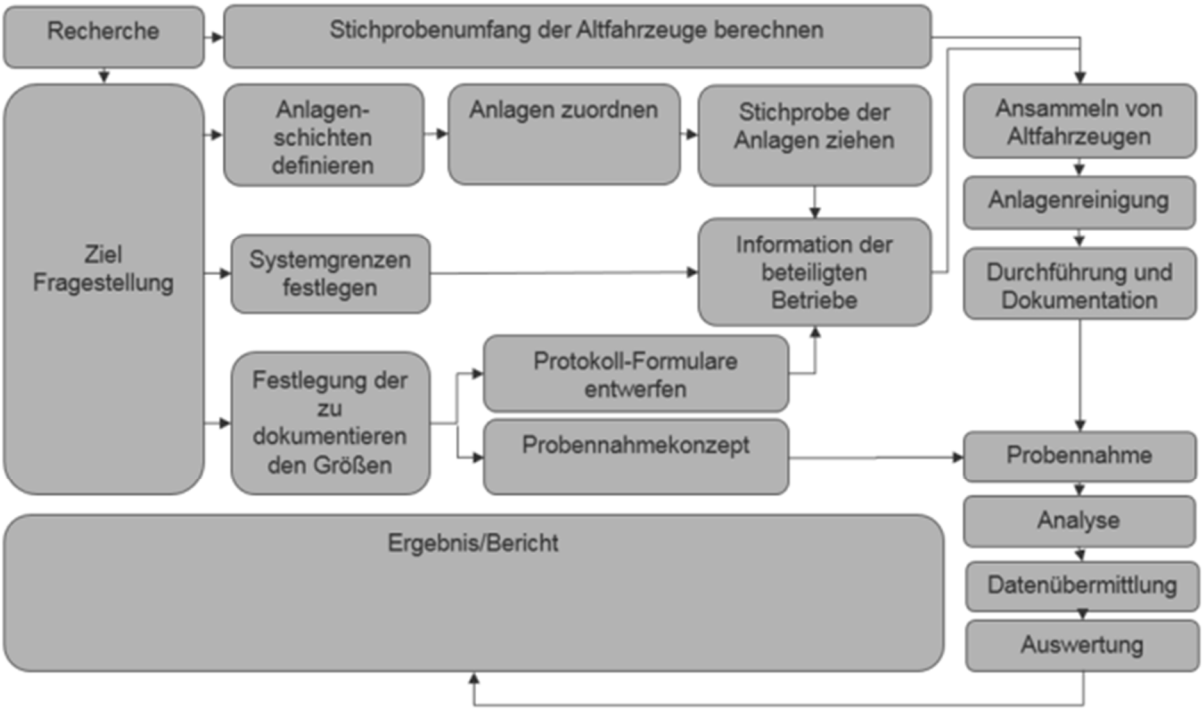
- Untersuchungsrahmen: Bei der Setzung des Untersuchungsrahmens wurden die Vorbehandlung/ Demontage und die anschließende Aufbereitung/ PST mit einbezogen,
- Altfahrzeugstichprobe: wird in gesondertem Abschnitt dargestellt (Kapitel 2.7),
- Stichprobe der Behandlungsanlagen: wird in gesondertem Abschnitt dargestellt (Kapitel 2.7),
- Dokumentationsformate: es wurden Formblätter, Fotodokumentation entwickelt und eine versuchsinterne Altfahrzeugnummer beschlossen.

Anschließend wurde zwischen den Akteuren der Ablauf und Untersuchungsrahmen der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne festgelegt.

2.6 Organisation, Ausgestaltung und Untersuchungsrahmen der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne

Basierend auf den durchgeführten Recherchen gemäß Kapitel 2.5, insbesondere unter Berücksichtigung des Leitfadens der EU-Kommission zu Altfahrzeug-/ Schredderkampagnen (Ökopol, 2012b), Kapitel2.5.2, den über die Kampagne realisierbaren Hauptfragestellungen, Tabelle 6 und den Handlungsfeldern der Beteiligten (siehe auch Abbildung 9), wurden Vorgehensweise und Ablauf der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne gemäß Abbildung 10 entwickelt. Dabei stellen die Wirkpfeile nicht den zeitlichen Ablauf der Kampagne dar.

Abbildung 10: Vorgehensweise und Ablauf der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne



Zur Vorbereitung der Versuche der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne wurde zwischen den Beteiligten ein operatives Durchführungskonzept vereinbart. Dieses beinhaltete differenzierte Handlungsanleitungen (siehe Anhang Kapitel 7.3 und 7.4) für die Demontagebetriebe und Betreiber der Schredderanlagen sowie allgemeine Informationen zur Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne.

Die Systemgrenzen der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne dienten der Bilanzierung der Kampagne. Die Festlegung der Systemgrenze bzw. des Untersuchungsrahmens ergab sich aus den Zielsetzungen/Hauptfragestellungen der Kampagne: Für die Bestimmung des Anteils der Schredderleichtfraktion am Restkarossengewicht hätte es ausgereicht, die Kampagne auf die Schredder zu beschränken. Die Frage nach dem Metallverbleib über den gesamten Altfahrzeugverwertungsprozess sowie die Frage nach dem letztlichen Verbleib der Outputströme (stoffliche/ energetische Verwertung/ Beseitigung) machte es jedoch erforderlich, die gesamte Kette von der Demontage der Altfahrzeuge über das Schreddern der Restkarossen einschließlich der Post-Schredder-Prozesse zu betrachten. Hieraus ergab sich ebenfalls die Möglichkeit, Daten für die Bewertung der Höherwertigkeit in der Altfahrzeugverwertung bereitzustellen. Unter anderem wurde erfragt, ob und in welchem Umfang höherwertige Bauteile (z. B. Elektro- und Elektronikkomponenten bzw. Elektromotoren) sowie Bauteile mit erhöhtem Gehalt an höherwertigen Materialien demontiert wurden. Darüber hinaus galt es Informationen über die Verbleibs- und Verwertungswege dieser Bauteile zu bekommen.

Abbildung 11: Ablauf der Altfahrzeugverwertung und Systemgrenzen für die Altfahrzeugverwertungs-/Schredderkampagne

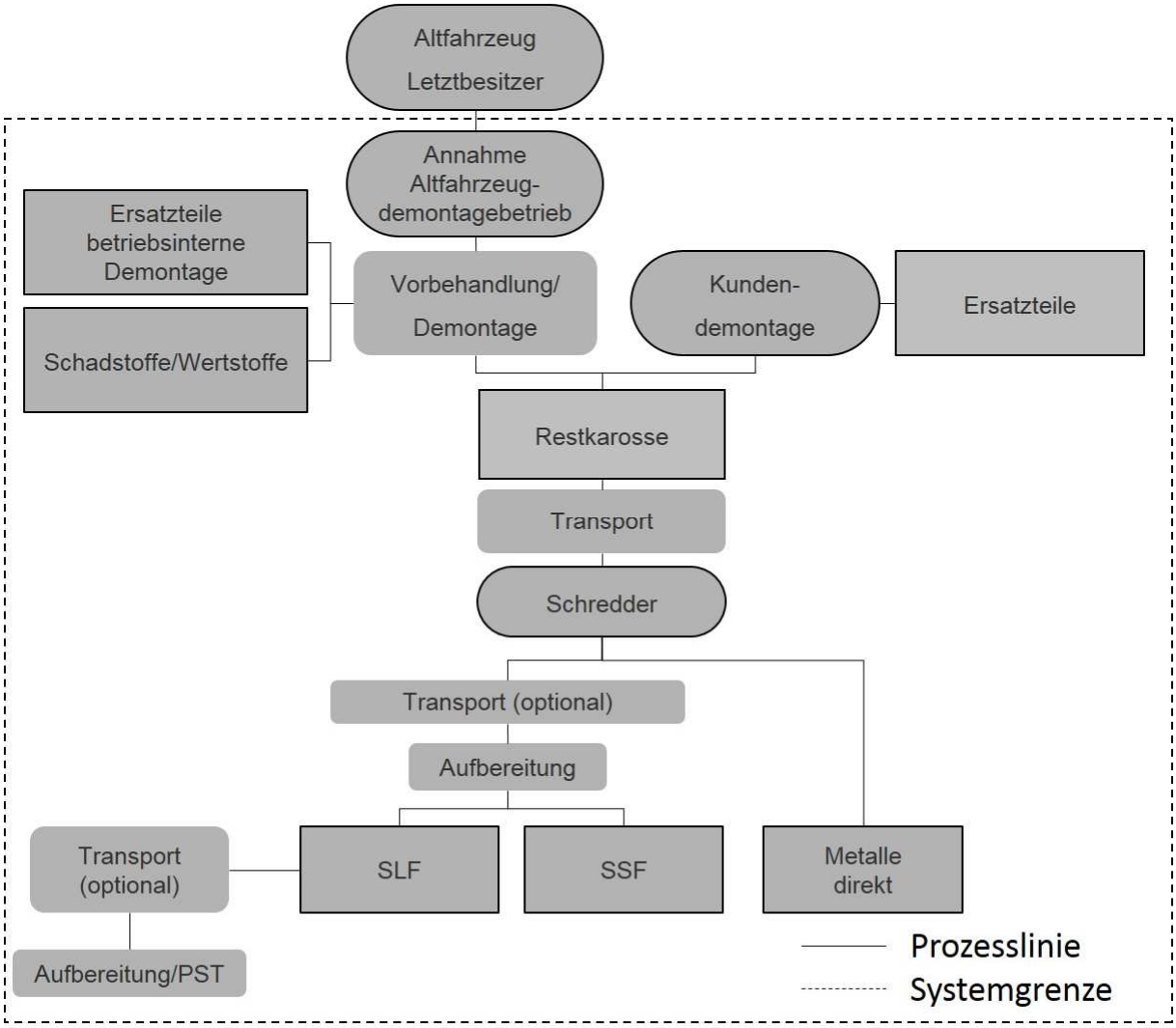


Abbildung 11 zeigt den Ablauf der Altfahrzeugverwertung. Während der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne erfolgte eine differenzierte Dokumentation der Materialien in Metalle/ „Metallfraktionen, die einer Verwertung zugeführt wurden“ und Nicht-Metalle/ „nichtmetallische Rückstände“ sowie in stoffliche und energetische Verwertung. Bei der Demontage wurde eine gesonderte Erfassung bei Wiederverwendung von demontierten Bauteilen durchgeführt.

Zwischen den Demontagebetrieben und den Schredderanlagen sowie zwischen den Schredderanlagen und der Aufbereitung der Schredderleicht- bzw. Schredderschwerfraktion kam es zu Transporten. Diese wurden separat innerhalb der Systemgrenzen erfasst, da Transporte, ob betriebsintern oder –extern, eine Fehlerquelle darstellen können.

2.7 Statistische Planung der Untersuchung – Stichprobenkonzept für die Auswahl der Anlagen und Altfahrzeuge/Restkarossen

Eine zuverlässige und belastbare Berechnung der Materialströme aus Demontage- und Schredderanlagen und der daraus zu berechnenden Recycling- und Verwertungsquote ist nur auf Stich-

probenbasis möglich. Die Stichprobenuntersuchung wurde so angelegt, dass für Deutschland repräsentative Ergebnisse erzielt werden können. Nachfolgend werden die einzelnen Schritte der statistischen Stichprobenplanung beschrieben.

2.7.1 Methodische und statistische Grundlagen und Ansatz der Stichprobenauswahl

Ausgehend von den zentralen Fragestellungen der Untersuchung (Tabelle 6) wurden die Untersuchungsmerkmale, die Untersuchungseinheiten sowie das gesamte Stichprobenkonzept für die Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne festgelegt, das repräsentative Aussagen für die relevanten Fragestellungen der Untersuchung ermöglichte. Stichprobeneinheiten sind die Altfahrzeuge und Restkarossen, auf deren Ebene die Untersuchungsmerkmale (Massen) zu erheben waren, soweit es die Aufbereitungsprozesse zuließen. Die Stichprobe, sowohl der Altfahrzeugentsorgungsanlagen, als auch der Altfahrzeuge sollte mehrere Anforderungen erfüllen: Sie sollte

- unverzerrt sein“ (Bias → 0),
- genau sein (z. B. ± 5 % zulässige Abweichung) und den „wahren Wert“ mit hoher Wahrscheinlichkeit (z.B. 95 % Konfidenzintervall) abbilden.

Relevante Einflussgrößen (räumlich, zeitlich, sachlich/technisch) auf die Untersuchungsergebnisse wurden geprüft und ggf. in Form von Schichten berücksichtigt. Die Komplexität der Fragestellung der Untersuchung machte eine mehrstufige Vorgehensweise erforderlich. Praktische Restriktionen vor Ort waren zu berücksichtigen.

2.7.2 Schichtenbildung

Eine Schichtung der Grundgesamtheit in Teilgesamtheiten ist dann erforderlich, wenn anzunehmen ist, dass sich Untersuchungseinheiten aufgrund von Einflussparametern stark unterscheiden. Das heißt, es sind Einflussparameter zu berücksichtigen, die signifikante Unterschiede der Zielvariablen, nämlich der einzelnen Outputstoffströme (Massen) bewirken.

In den folgenden Kapiteln 2.7.2.1 und 2.7.2.2 werden die Kriterien genannt, welche für die Schichtung der Stichprobe der Altfahrzeugverwertungsanlagen sowie die Stichprobe der Altfahrzeuge betrachtet wurden. In Kapitel 2.7.3 werden die praktischen Restriktionen und projektbedingten Gegebenheiten mit in die Schichtung einbezogen und die für die Stichprobenplanung zugrunde gelegte Schichtungsmatrix entwickelt und dargestellt.

2.7.2.1 Kriterien für die Schichtung der Stichprobe der Altfahrzeugverwertungsanlagen

Auf Ebene der Demontage-/ Schredderanlagen wurden die Demontagetiefe und Aufbereitungsqualitäten als Einflussparameter auf die Outputstoffströme identifiziert. Die Europäische Kommission empfiehlt in ihrem Schredderkampagnen-Leitfaden (Ökopol, 2012b) bei der Anlagenauswahl folgende Kriterien bei der Schichtung zu berücksichtigen:

- Anzahl der Beschäftigten,
- Anzahl der behandelten Altfahrzeuge pro Jahr,
- Altfahrzeug-/ Restkarossendurchsatz,
- Anlagenumsatz,

ohne einen Einfluss auf die Outputqualität zu benennen. Weitere Schichtungskriterien könnten die Organisation, die Ausstattung und Logistik/ regionale, überregionale Vermarktung mit/ ohne Internet etc. sein.

Für die benannten Einflussgrößen konnten anhand der ausgewerteten Literatur und weiteren Recherchen keine erkennbaren Auswirkungen auf die Zielvariablen abgeleitet werden.

Für die Demontage- und Schredderanlagen wurden folgende Schichtungskriterien herangezogen:

- bei den Demontagebetrieben die Demontagetiefe,
- bei den Schredderanlagen die Aufbereitungstiefe der Schredderrückstände.

Altfahrzeug-Demontagebetriebe

Zur Durchführung der Kampagne war eine Auswahl von Demontagebetrieben, deren Tätigkeit als repräsentativ angesehen werden kann, unabdingbar. Diese mussten bestimmte Anforderungen hinsichtlich Organisation und Ausstattung sowie Logistik erfüllen:

a) Anerkennung AltfahrzeugV: Die wichtigste Anforderung für die Betriebe war die Anerkennung nach Altfahrzeugverordnung. Die Demontagebetriebe mussten somit über die technische Ausstattung sowie das Knowhow zur Verwertung von Altfahrzeugen verfügen.
b) Abläufe: Des Weiteren musste sichergestellt werden, dass durch die Kampagne der Arbeitsalltag nicht wesentlich gestört wurde.
c) Logistik: Um die Logistikkosten so gering wie möglich zu halten, waren kurze Transportwege sicherzustellen. Ein großer organisatorischer Vorteil waren bestehende Lieferbeziehungen zwischen den Demontage- und Schredderanlagen, so dass eine vertrauensvolle Zusammenarbeit und ein reibungsloser Ablauf der Kampagne gewährleistet werden konnten. Dies bedeutete, dass die Stichproben für die Demontagebetriebe und Schredderanlagen nicht gänzlich unabhängig voneinander gezogen werden konnten.
d) Demontagetiefe: Es wurde davon ausgegangen, dass die Demontagetiefe im Wesentlichen durch die Vermarktungsstrategie der Demontagebetriebe beeinflusst wird. Die Grundgesamtheit der derzeitig am Markt aktiven Altfahrzeugdemontagebetriebe zeigt eine Mischung aus
   - regional vermarktenden Betrieben,
   - überregional vermarktenden Betrieben und
   - überregional unter Integration der online Vermarktung tätigen Unternehmen.
   Die ausgewählten Unternehmen müssen alle drei Arten der Vermarktung abdecken.

Für eine repräsentative Auswahl von Betrieben wurden daher mindestens drei Schichten von Demotagebetrieben berücksichtigt, von denen zwei zusammengelegt wurden.

Schredderanlagen

Die Kriterien der Schichtung der Schredderanlagen beruhten auf der Überlegung, verschiedene, in Deutschland praktizierende Technologien sowie Behandlungs- und Verwertungswege einzubeziehen. Eine Schicht repräsentiert daher Betriebe, die die Aufbereitung auf hohem technischen Niveau insbesondere der Schredderleichtfraktion durchführen, und zum anderen eine Schicht der Betriebe, die eine Aufbereitungsanlage im technisch mittleren Niveau betreiben.

Mit dieser Schichtung ließen sich Ergebnisse erwarten, die dem durchschnittlichen Stand der Altfahrzeugverwertungstechnik entsprechen (bezüglich u. a. der Recycling-/Verwertungsquote). Gleichzeitig wurde aus der Stichprobe ein wesentlicher Input zur Frage der möglichen Hochwertigkeit der Verwertung erwartet.

2.7.2.2 Kriterien für die Schichtung der Altfahrzeuge/ Restkarossen

Auf Ebene der Altfahrzeuge/ Restkarossen sind die Einflussparameter auf die Outputstoffströme vor allem die Schwankungen in der Materialzusammensetzung. Es wurden Hersteller, Marken, Gewichtsklassen, Zustandsgruppe, Modell, Fahrzeugalter, Antriebsart etc. als Schichtungskriterien betrachtet und diskutiert. Die Einflussgrößen wurden anhand der ausgewerteten Literatur

(siehe Tabelle 7) auf ihre Relevanz geprüft. Deutliche Einflüsse konnten nur für Gewichtsklassen (Schredderversuche in Irland (Gaillot, McCormack (2014) und Großbritannien (Mayer Environmental (2015)) und Altfahrzeugzustandsgruppen (mit/ohne Antriebsstrang) (Schredderversuche Scholz AG (Schubert et al. (2006)) und Wirtschaftskreis Altfahrzeuge (TÜV NORD GmbH (2006)) nachvollzogen werden. Das Metall-/ Kunststoffverhältnis ändert sich mit zunehmendem Gewicht und mit dem Zustand wie z. B. mit/ohne Motor und Getriebe und Unfallwagen (siehe oben genannte Studien).

Ein Einfluss der anderen genannten Größen kann aufgrund der verfügbaren Literatur nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Es wurde daher empfohlen, die Angaben zu Marken/ Herstellern, Modellen, Fahrzeugalter und Antriebsart zu dokumentieren und ggf. einer nachträglichen Schichtung zu unterziehen. Unter dem Gesichtspunkt der Praktikabilität in der Umsetzung wurde nur die klare Abhängigkeit von Gewichtsklasse und Zustandsgruppe im Stichprobenkonzept berücksichtigt (siehe oben im vorherigen Absatz zitierte Studien).

2.7.3 Schichtung der Stichproben unter Berücksichtigung praktischer Restriktionen

Die geschichtete Zufallsauswahl stellte die aus methodischer Sicht idealtypische Vorgehensweise dar. In der praktischen Umsetzung mussten aufgrund der eingeschränkten Anlagenverfügbarkeit für eine Zufallsauswahl sowie der Datenlage aus der Literaturrecherche zu Schredderkampagnen und den Demontage- und Schredderanlagen erhebliche Anpassungen/ Vereinfachungen vorgenommen werden.

Im vorgegebenen Projektrahmen konnten die für die Entwicklung eines umfassenden Stichprobenkonzeptes erforderlichen Daten zu Anlageninformationen wie z. B. der Altfahrzeugdurchsatz, die Größenklassenverteilung, die Übersichten zur technologischen Ausstattung der Demontageanlagen etc. aus vorliegenden Literaturdaten nicht für alle über 1.200 Altfahrzeugverwertungsanlagen in Deutschland erhoben werden. Zudem war der im Rahmen einer wirklichen Zufallsauswahl erforderliche Zugriff auf alle Anlagen nicht gegeben.

Die Auswahl der Anlagen musste daher durch eine gemeinsame Abstimmung mit den im Projekt beteiligten Anlagenbetreibern erfolgen. Auf Basis der Branchenkenntnis der im Projekt beteiligten Anlagenbetreiber wurden drei Demontageanlagen und zwei Schredderanlagen ausgewählt, die die Anforderungen an die unterschiedlichen Aufbereitungstechnologien am besten erfüllen. Die Anlagen konnten daher als ein guter Querschnitt angenommen werden. Inwieweit sich auf Basis der vorgenommenen Schichteinteilung die Zielparameter auf alle Anlagen in Deutschland hochrechnen ließen, war mit den verfügbaren Informationen aus der Literaturrecherche und den Expertenbefragungen nicht möglich.

In der folgenden Aufzählung und Tabelle 8 sind die Parameter für die gewählte Stichprobenmethode zusammengefasst dargestellt.

- Methode: mehrstufige geschichtete Zufallsauswahl mit praktischen Einschränkungen,
- Inputseitige Untersuchungseinheit: Altfahrzeuge,
- Outputseitige Untersuchungseinheit: Altfahrzeugteile, Wertstoffe und Schadstoffe,
- Untersuchungsmerkmal: Massen der Zielparameter (Outputmassen, -anteile),
- Auswahleinheiten: Demontageanlagen und Schredderanlagen,
- Stichprobeneinheit: Altfahrzeugebzw. Restkarossen,
- Stufen: 2 Stufen; Anlagenauswahl und Altfahrzeugauswahl,
- Restriktionen/ Probleme: Gewünschte Differenzierung nach Schichten nicht verfügbar, unzumutbarer Eingriff in den Betriebsablauf

Tabelle 8: Weitere Parameter der Stichprobenmethode der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne; Methode: Mehrstufige geschichtete Zufallsauswahl (mit praktischen Einschränkungen)

Schichten (Anlagen)	Schichten (Altfahrzeuge/ Restkarossen)
Hohe Aufbereitungsqualität	Altfahrzeuge/ Restkarossen mir einer Differenz von Masse Fahrzeugbrief zu Realgewicht < 30 % S1: Klein (< 1.000 kg), S2: Mittel (1.000 – 1.250 kg), S3: Groß (> 1.250 kg)
Mittlere/ niedrige Aufbereitungsqualität	Differenz von Masse Fahrzeugbrief zu Realgewicht ≥ 30 % (= zustandsveränderte Altfahrzeuge, kurz S3 „Zustand“)

Für die geschichtete Zufallsauswahl wurden folgende Demontageanlagen und Schredderanlagen ausgewählt (siehe Tabelle 9):

Tabelle 9: Auswahl der Demontageanlagen und Schredderanlagen

Anlagenart	Schicht	Betreiber	Ort; Bundesland
Demontageanlagen	hoch	LRP Autorecycling GmbH	Leipzig; Sachsen
	mittel/niedrig	SMK Autoverwertung GmbH	Magdeburg; Sachsen-Anhalt
	mittel/niedrig	Autoservice Raik Melle	Leitzkau (Jerichower Land); Sachsen-Anhalt
Schredderanlagen	hoch	Scholz Recycling GmbH	Espenhain (Leipzig); Sachsen-Anhalt
	mittel/ niedrig	TSR Recycling GmbH	Brandenburg an der Havel; Brandenburg

In den folgenden Kapiteln werden die methodischen Grundsätze ohne Berücksichtigung praktischer Restriktionen dargestellt.

2.7.4 Voruntersuchungen zur Vorbereitung der geschichteten mehrstufigen Stichprobe

Zur Bestimmung der Schichten, der Anzahlen an Stufen (bei mehrstufiger Auswahl), der Anzahl an Stichprobeneinheiten (ggf. je Schicht und Stufe) sowie der Größe einer Stichprobeneinheit müssten umfangreiche Informationen zur Varianz der Untersuchungseinheiten (aus denen die Stichprobeneinheiten ausgewählt werden) ermittelt werden. Sind diese Informationen nicht verfügbar, wird auf Voruntersuchungen oder verteilungsbasierte Schätzungen der zu erwartenden Varianz zurückgegriffen. Aus allen verfügbaren Vorinformationen zur geplanten Untersuchung wurde ein Stichprobenkonzept entwickelt, mit den Akteuren abgestimmt und umgesetzt.

Die zu untersuchende Grundgesamtheit besteht aus jährlich ca. 500.000 Altfahrzeugen mit einer Gesamtmasse von ca. 460.000 Mg. Diese werden an ca. 1.200 deutschen Altfahrzeugdemontageanlagen angeliefert und in ca. 50 Schredderanlagen weiter behandelt. Die Grundgesamtheit erforderte aufgrund ihrer Komplexität einen anspruchsvollen Stichprobenansatz. Die geschichtete mehrstufige Stichprobe war ein geeigneter Ansatz für diese Aufgabenstellung.

Maßgeblich für die Festlegung des Stichprobenkonzeptes und die Ermittlung des notwendigen Stichprobenumfanges war der Zielparameter mit der größten anzunehmenden Streuung. Weiterhin war zu berücksichtigen, dass Schredderversuche nur mit einer Mindestanzahl an Altfahrzeugen/ Karossen durchgeführt werden können. Je differenzierter die Post-Schredder Aufberei-

tung ist, desto mehr Altfahrzeuge je Schredderversuch werden benötigt um in den verschiedenen Fraktionen messbare Mengen zu produzieren. Laut Angaben der Anlagenbetreiber sind für Schredderanlagen mit aufwendiger Post-Schreddertechnologie zwischen 200-250 Restkarossen notwendig um einen stabilen Aufbereitungsverlauf sicherzustellen.

Entsprechend den Fragestellungen der Untersuchung gehörten zu den Untersuchungsmerkmalen sowohl die Qualität der Outputströme als auch Mengenanteile/ Quoten von Outputströmen. Die Outputströme fallen an verschiedenen Stellen der Altfahrzeugdemontage- und Schredderanlagen (ggf. Post-Schredderanlagen) an. In der praktischen Umsetzung der Stichprobenerhebung waren damit im Verlauf der Altfahrzeugverwertung mehrere Prozessschritte (Demontage, Schreddern, Post-Schreddern) und die zu den Prozessen gehörenden relevanten separierten Stoffströme (Outputmengen) zu berücksichtigen, siehe auch Abbildung 11 mit den Systemgrenzen.

- Bei der Demontage mussten sämtliche entnommene Ersatzteile, Wertstoffe und Schadstoffe je Altfahrzeug verwogen werden. Für die geforderte Differenzierung nach Metallen (Me) und Nichtmetallen (NMe) waren weitere Untersuchungen/ Analysen erforderlich.
- Beim Schreddern mussten die Outputströme Schredder-Schrott (Fe), Schredderschwerfraktion (SSF) und davon NE-Metalle und Nichtmetalle, Schredderleichtfraktion (SLF) und davon Metalle, Feinkorn, Grobkorn erfasst wurden. Hierzu waren weitere Unterstichproben aus den Fraktionen SSF und SLF erforderlich (siehe hierzu Kapitel 2.11.3).
- Bei den Post-Schredder-Prozessen für den weiteren Aufschluss der SLF mussten zur Bestimmung der interessierenden Anteile weitere Unterstichproben gezogen und analysiert werden (siehe hierzu Kapitel 2.11.3).

In einem mehrstufigen geschichteten Auswahlprozess waren die Varianzen zwischen den Auswahleinheiten (hier zwischen den Anlagen) und die Varianzen zwischen den Untersuchungseinheiten (hier die Massen der Altfahrzeuge/ Restkarossen bzw. die festgelegten Outputströme) zu berücksichtigen. Die Varianzen mussten aus vergleichbaren Voruntersuchungen (Literaturrecherche, Auswertung von Schredderkampagnen etc.) abgeschätzt werden. Zur Verbesserung der Datenlage zu den Varianzen wurde vorgeschlagen, dass jeweils 30 Altfahrzeuge pro Demontageanlage aufgeteilt nach Schichten „altfahrzeugbezogen“ bezüglich der Outputströme erhoben werden (d. h. > 6 Altfahrzeuge in jeder Schicht und Anlage). Diese Ergebnisse wurden als eigene Voruntersuchung bezüglich ihrer Varianzen ausgewertet und trugen zur Verbesserung der Varianzschätzungen bei. Da der Rekrutierungsprozess an Altfahrzeugen über einen Zeitraum von drei Monaten vorgesehen war, konnte der notwendige Stichprobenumfang auf Basis der Ergebnisse der Voruntersuchung noch angepasst werden.

In der Praxis wurden während der Demontage die Stoffströme aus dem Formblatt, mit welchem die Betriebe ihre Demontage dokumentierten, zu den interessierenden Output-Stoffströmen (Bauteile/ Komponenten) der Aufgabenstellung zusammengefasst. Eine Auflistung der Zuordnung findet sich in Tabelle 10. Hierbei wurden alle Stoffströme aufgelistet, für welche mindestens ein Wert vorliegt.

Tabelle 10: Zuordnung der Abfallarten zu Abfallschlüsseln und Stoffgruppen (Fahrzeugbauteile/ Komponenten)

Fahrzeug-Bauteil/ Komponenten	Bezeichnung der Abfallart	Abfallschlüssel
Flüssigkeiten	nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	13 02 05*

Fahrzeug-Bauteil/ Komponenten	Bezeichnung der Abfallart	Abfallschlüssel
	synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	13 02 06*
	Heizöl und Diesel	13 07 01*
	Benzin	13 07 02*
	Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW, HFKW	14 06 01*
	Bremsflüssigkeiten	16 01 13*
	Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten	16 01 14*
Schadstoffe	Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 14 fallen	16 01 15
	Bleibatterien	16 06 01*
	gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	16 08 07*
Wertstoffe Metalle	Eisenmetalle	16 01 17
	Nichteisenmetalle	16 01 18
	Aluminium	17 04 02
	Eisen und Stahl	17 04 05
	gemischte Metalle	17 04 07
Wertstoffe Nichtmetalle	Altreifen	16 01 03
	Kunststoffe	16 01 19
	Glas	16 01 20
Ersatzteile	metallische Bauteile/Ersatzteile	16 01 22 01
	nicht metallische Bauteile/Ersatzteile	16 01 22 02
	zusätzliche Demontage (Platinen, Stellmotore, Elektronik)	

Zum Zeitpunkt der Voruntersuchung stand aus den beteiligten Betrieben folgende Anzahl an vordemontierten Altfahrzeugen bereit:

- Demontagebetrieb 1: 90 Altfahrzeuge,
- Demontagebetrieb 2: 53 Altfahrzeuge,
- Demontagebetrieb 3: Zum Zeitpunkt der Auswertung standen keine Daten zu Verfügung.

Die Vorversuche wurden an den Demontageanlagen 2 und 3 durchgeführt. Die Anzahl der in die Voruntersuchung einbezogenen Altfahrzeuge übertraf die Vorgabe von mindestens 30 Altfahrzeugen pro Demontageanlage.

2.7.5 Mehrstufige geschichtete Zufallsauswahl

Die zu untersuchenden Massen und Anteile hängen von der Altfahrzeugbeschaffenheit und von den Aufbereitungsprozessen an den Demontagebetrieben und Schredderanlagen ab. Daraus ergab sich sowohl eine Schichtung als auch eine Mehrstufigkeit des Auswahlverfahrens nach Anlagen und Altfahrzeugen. Die Anlagen wurden bezüglich ihrer Prozesse, die Altfahrzeuge bezüglich ihrer Materialbeschaffenheit in Schichten eingeteilt. In einem zweistufigen Auswahlverfahren wurden zunächst Anlagen (Demontagebetriebe und Schredderanlagen) und danach Altfahrzeuge/ Restkarossen ausgewählt (die Auswahl der Anlagen unterlag dabei gewissen praktischen Restriktionen, welche in Kapitel 2.7.3 beschrieben sind). Bestimmte Stoffströme (z. B. die

Schredderleichtfraktion) wurden durch die Entnahme von Unterstichproben aus den Outputströmen eingehender untersucht. Die Stufen 1 (Anlagen) und 2 (Altfahrzeuge) wurden im Rahmen des Stichprobenkonzeptes behandelt, die Stufe III (Unterstichproben) im Zuge der Analytik in Kapitel 3.

Bei der Demontage wurden die Daten zu Outputströmen je Altfahrzeug aufgenommen. Beim Schredderprozess war eine Datenaufnahme der Outputströme je Restkarosse nicht möglich. Zur Stichprobenberechnung, Qualitätskontrolle und zur Validierung der Methode wurden daher die Ergebnisse aus vorliegenden Schredderkampagnen[7] ausgewertet. Aus den Outputströmen konnte die Varianz pro Schredderversuch bestimmt werden und auf die „restkarossenbezogenen" Varianzen zurückgeschlossen werden.

Nach Möglichkeit sollten die an den Demontageanlagen repräsentativ ausgewählten Altfahrzeuge auch für den Schredderprozess verwendet werden, da bereits auf repräsentativen In- und Output geachtet wurde. Dies bedeutet, dass alle im Studienzeitraum an Demontageanlagen angelieferten Altfahrzeuge in den Versuch aufgenommen wurden. Dies wurde an den Demontageanlagen so lange durchgeführt, bis ausreichend Fahrzeuge in allen Schichten vorhanden waren. Eine proportionale Verteilung der Altfahrzeuge auf die Schredderanlagen unter Beachtung der Schichten war zu berücksichtigen. Bei guter Dokumentation der Herkunft und des Demontagezustandes hätten zwar grundsätzlich auch Restkarossen in der Stichprobe für die Schredderanlagen verwendet werden können, die nicht Teil der Demontagestichprobe waren. Von dieser Möglichkeit wurde jedoch kein Gebrauch gemacht, da aus dem Demontageversuch ausreichend Altfahrzeuge vorlagen, um den Schredderversuch durchzuführen.

In Tabelle 11 und Tabelle 12 sind die Schichtungskriterien für die Anlagen und Altfahrzeuge/ Restkarossen zu entnehmen. Tabelle 13 gibt die Schichtungsmatrix für das Stichprobenkonzept wieder.

Durch die schon genannte Mindestanzahl von Altfahrzeugen pro Schicht und der Festlegung auf zwei Schichten an den Schredderanlagen, konnten bei einem maximal vorgesehenen Stichprobenumfang von ca. 1.000 Altfahrzeugen insgesamt nur zwei Schredderanlagen in die Untersuchung einbezogen werden.

Tabelle 11: Festlegung der Schichtungskriterien – Anlagenebene

Ebene	Schichtung	
Demontage	hoher Demontageumfang [1]	mittlerer / niedriger Demontageumfang [2]
Schredder	hohe Aufbereitungstiefe PST[3]	Mittlere/niedrige Aufbereitungstiefe PST[4]

Tabelle 12: Festlegung der Schichtungskriterien – Altfahrzeug-/ Restkarossenebene

Vorstufe[5]	Nicht-zustandsveränderte Fahrzeuge	Zustandsveränderte Fahrzeuge
Demontage[6]	Differenz Masse Altfahrzeugbrief zu real < 30 % Klein (< 1.000 kg),	

[7] Gaillot, McCormack 2014; Department of Business 2015; Schubert, Jäckel, Suhm 2005; TÜV NORD GmbH 2006; SIGRAUTO 2010; Recycling magazine 2011

Vorstufe[5]	Nicht-zustandsveränderte Fahrzeuge	Zustandsveränderte Fahrzeuge
	Mittel (1.000 - 1.250 kg), Groß (≥ 1.250 kg)	Differenz Masse Altfahrzeug-brief zu real ≥ 30 %
Schred-der	Differenz Masse Altfahrzeugbrief zu real < 30 %	

Legende

[1]) Demontage und Veräußerung komplexer Gebrauchtteile inklusive Qualitätsbeschreibung und Veräußerung über Online-Shops

[2]) Demontage einfacher im Wesentlichen mechanischer Komponenten oder Gebrauchtteile und Veräußerung hauptsächlich an der Ladentheke

[3]) Komplexe Aufbereitungstechnik zur Generierung weitestgehend sortenreiner Outputströme zur hochwertigen stofflichen und energetischen Verwertung

[4]) Einfache Aufbereitungstechnik zur Generierung von Stoffgemischen zur stofflichen und energetischen Verwertung

[5]) Vor der Demontage wird festgestellt, ob es sich um ein zustandsverändertes Fahrzeug handelt. Das Altfahrzeug hat bei Anlieferung an den Demontagebetrieb, beispielsweise aufgrund starker Vordemontage, nur noch höchstens 70 % des im Fahrzeugbrief ausgewiesenen Gewichts. Dies sind zustandsveränderte Altfahrzeuge.

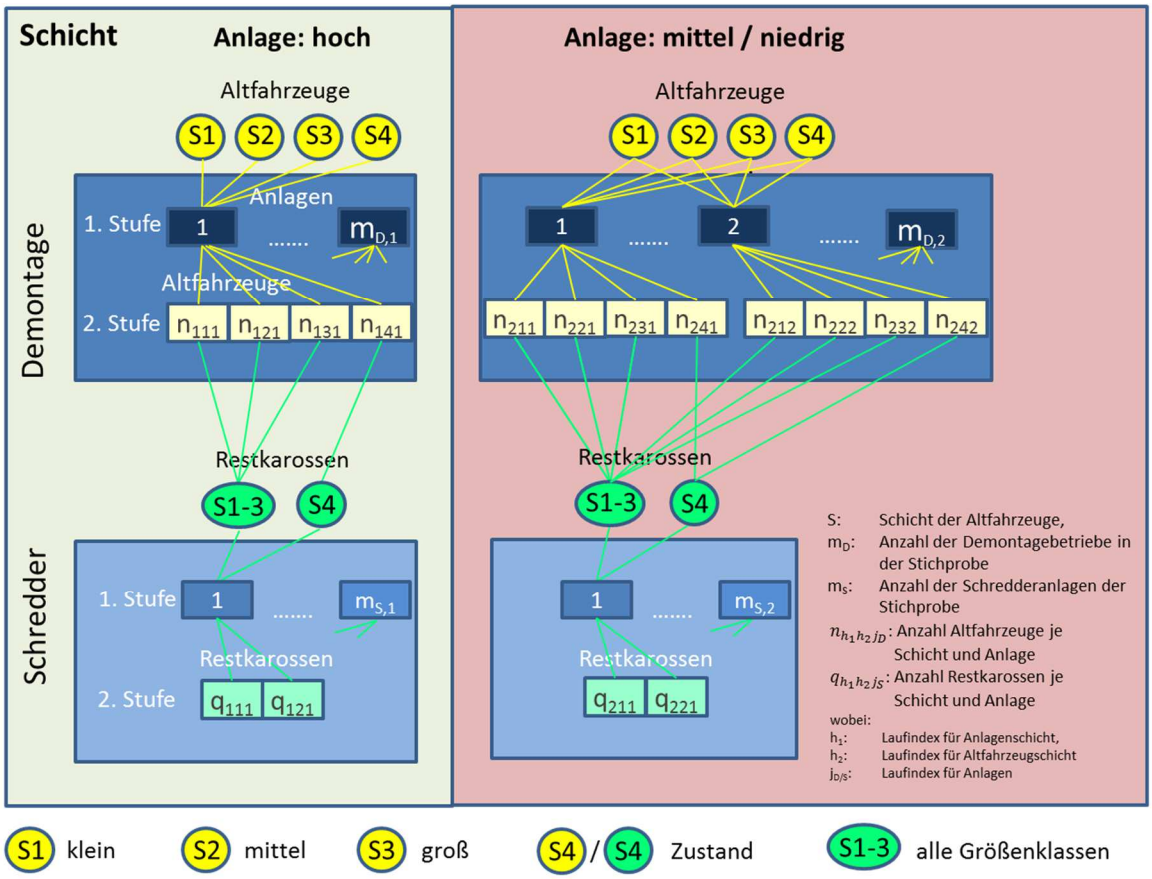
[6]) Alle nicht zustandsveränderten Altfahrzeuge werden nach drei Größenklassen geschichtet. Fahrzeuge welche nach der Demontage eine Differenz der Masse im Altfahrzeugbrief zum Realgewicht ≥ 30 % haben, werden auch in die Klasse der zustandsveränderten Altfahrzeuge eingeordnet.

Tabelle 13: Festlegung der Schichten, für die Altfahrzeuge nach Gewichtsklasse bzw. Materialverhältnis Realgewicht zu Briefgewicht, für die Anlage nach Aufbereitungsqualität des Schredderoutputs

Bereich	S1 Fahrzeuggewicht gering	S2 Fahrzeuggewicht mittel	S3 Fahrzeuggewicht hoch	S4 Zustandsverändert
Anlagen: hohe Aufbereitungsqualität	hoch / < 1.000 kg	hoch / 1.000 – 1.250 kg	hoch / > 1.250 kg	hoch / zustandsverändert, im Folgenden „Zustand“
Anlagen: mittlere – niedrige Aufbereitungsqualität	mittel - niedrig / < 1.000 kg	mittel / niedrig 1.000 – 1.250 kg	mittel / niedrig > 1.250 kg	mittel / “Zustand“

In Abbildung 12 ist die Aufteilung nach Schichten und Stufen noch einmal exemplarisch in einem Fließbild dargestellt. Die in Tabelle 13 definierten Schichten finden sich hier wieder.

Abbildung 12: Verteilung der Stichprobenanzahlen im mehrstufigen Konzept



2.7.6 Ermittlung des notwendigen Stichprobenumfanges

Zur Berechnung des notwendigen Stichprobenumfanges der Altfahrzeuge in einem mehrstufigen geschichteten Auswahlprozess waren die Genauigkeitsanforderungen an die Zielvariablen (z. B. durchschnittliche Output-Massenströme wie z. B. Masse der Fe-Metalle pro Altfahrzeug oder die Verwertungsquote der Fe-Metalle pro Altfahrzeug) festzulegen und die Varianzen der Zielvariablen für einen mehrstufigen Auswahlprozess abzuschätzen.

Um ein ausgewogenes Kosten-/ Nutzenverhältnis des Forschungsvorhabens zu gewährleisten, wurde vorgeschlagen, die Zielvariablen mit hoher Relevanz (die Metallanteile sowie die Stoffströme der Schredderleichtfraktion) mit einer Genauigkeit von ± 5 % zu untersuchen. Für weitere in der Hauptfragestellung genannte Zielvariablen wurde die erreichbare Genauigkeit in Abhängigkeit des für die Zielvariablen mit hoher Relevanz berechneten notwendigen Stichprobenumfanges ausgewiesen.

Die Begrenzung des Stichprobenumfanges durch technische und organisatorische Gegebenheiten (siehe Kapitel 2.7.5) war bei der Berechnung des Stichprobenumfangs zu berücksichtigen. Die in Kapitel 2.7.4 beschriebenen Voruntersuchungen wurden angewendet, um den notwendigen Stichprobenumfang mit höherer Genauigkeit bestimmen zu können.

Die Berechnungen zum notwendigen Stichprobenumfang bezogen sich auf die Auswahl an Anlagen (Demontage/ Schredder) und die Altfahrzeuge/ Restkarossen. Die im Untersuchungskonzept vorgesehenen weiteren Analysen der Outputströme (Stoffgruppen und chemisch-physikalische Parameter) wurden nicht berücksichtigt. Bei der Ziehung von Unterstichproben gemäß LAGA PN98, der Probenaufbereitung und der chemisch-physikalischen Analyse war mit weiteren Unsicherheiten zu rechnen, die sich zu dem Fehler durch die Stichprobenerhebung der Altfahrzeuge addierten. Da bei Feststoffbeprobungen aus heterogenen Output-Materialien wie z. B.

der Schredderleichtfraktion aus dem bewegten Haufwerk vom Band mit Genauigkeiten von maximal ± 10 % zu rechnen war, trug die Stichprobenauswahl der Altfahrzeuge durch die Vorgabe der Genauigkeit mit ± 5 %, mit weniger als 25 % zum Gesamtfehler bei.

Ausgehend von der Schichteinteilung der Demontage- und Schredderanlagen (je 2 Schichten für die Demontage- und Schredderanlagen) wurden aus jeder Schicht eine Anzahl von Anlagen aus der Grundgesamtheit der Demontageanlagen bzw. Schredderanlagen ausgewählt (siehe Tabelle 14, siehe auch Kapitel 2.7.2). Eine zufällige Ziehung war aufgrund der praktischen Restriktionen nicht möglich (siehe hierzu Kapitel 2.7.3). Die Betriebe wurden daher durch Vorauswahl festgelegt.

Tabelle 14: Umfang der Anlagenstichproben (Teil Demontagebetriebe)

Schichten	Demontagetiefe	Stichprobe m_D	Grundgesamtheit Demontagebetriebe in Deutschland M_D
1	Hoch	1	ca. 1.200
2	Mittel/tief	2	

Legende
m_D = Stichprobe Demontageanlage
M_D = Grundgesamtheit Demontageanlagen

Tabelle 15: Umfang der Anlagenstichproben (Teil Schredderanlagen)

Schichten	Aufbereitungstiefe PST	Stichprobe m_S	Grundgesamtheit Schredderanlagen in Deutschland[1)] M_S
1	Hoch	1	ca. 50
2	Mittel/tief	1	

Legende
m_S = Stichprobe Schredderanlagen
M_S = Grundgesamtheit Schredderanlagen
1) Schredderanlagen, die Restkarossen aufbereiten

Da die Prozesse der Demontage und des Schredderns hintereinandergeschaltet waren, hätte der Auswahlprozess der Anlagen innerhalb der Schichten jeweils unabhängig für die Demontage- und Schredderanlagen erfolgen müssen. In der Praxis konnten die realen Zulieferbeziehungen zwischen Demontage- und Schredderanlagen nicht unberücksichtigt gelassen werden.

Der Auswahlprozess der Altfahrzeuge war durch die Auswahl an den Demontageanlagen festgelegt und wurde zunächst über eine proportionale Verteilung innerhalb der Anlagenschichten angedacht. Die vorbehandelten Restkarossen wurden anschließend den Schredderanlagen zugeführt. Die Voruntersuchungen zum notwendigen Stichprobenumfang zeigten, ob unterschiedliche Stichprobenanzahlen an Altfahrzeugen für Demontage und Schredder notwendig waren. Eine proportionale Aufteilung innerhalb der Anlagenschichten war zumindest bei der Voruntersuchung einzuhalten. Die Ergebnisse zur geplanten und tatsächlichen Verteilung sind in Kapitel 2.7.8 dargestellt.

2.7.6.1 Berechnung des Stichprobenumfangs der Altfahrzeuge/ Restkarossen

Die in der Stichprobenberechnung zu berücksichtigenden Zielgrößen ergaben sich aus den Hauptfragestellungen in Tabelle 6 und sind in Gleichung 1 in der Bilanzierung der Stoffströme

dargestellt. Durch geeignete Umformungen konnten die in der Untersuchung geforderten Quoten/ Anteile abgeleitet und die erforderlichen Stichprobenumfänge der Altfahrzeuge/ Restkarossen berechnet werden.

Input *Output: Demontage* *Schredder*

$$\sum_{i=1}^{N} Y_{(ELV)_i} = \sum_{i=1}^{N} X_{(ET)_i} + \sum_{i=1}^{N} X_{(WSt)_i} + \sum_{i=1}^{N} X_{(SSt)_i} + \sum_{i=1}^{N} X_{(FeSS)_i} + \sum_{i=1}^{N} X_{(SSF(NE))_i} + \sum_{i=1}^{N} X_{(SSF(NMe))_i} + \sum_{i=1}^{N} X_{(SLF(Me))_i} + \sum_{i=1}^{N} X_{(SLF(FK))_i} + \sum_{i=1}^{N} X_{(SLF(GK))_i}$$

Gleichung 1

Y	Input: Masse der Altfahrzeuge	WSt	Wertstoffe
ELV	Altfahrzeuge (End-of-Live Vehicles)	FeSS	Eisen (hier Schredderschrott)
X	Output: Masse der Outputstoffströme	SSF(NE)	Nichteisenmetalle in der Schredderschwerfraktion
i	Laufindex für Altfahrzeuge	SSF(NMe)	Nichtmetalle in der Schredderschwerfraktion
N	Anzahl der Altfahrzeuge in der Grundgesamtheit	SLF(Me)	Metalle in der Schredderleichtfraktion
ET	Ersatzteile	SLF(FK)	Feinkorn in der Schredderleichtfraktion
SSt	Schadstoffe	SLF(GK)	Grobkorn in der Schredderleichtfraktion

Für die Stichprobenberechnung mussten die Zielgrößen und deren Varianzen den Schichten und Stufen zugeordnet werden. Zu den Zielgrößen zählten auch die Verwertungs- und Recyclingquoten, die aus den Quotienten der Outputströme zum Inputstrom berechnet wurden. Am Beispiel des Output-Stoffstroms Fe-Metalle zur Verwertung bzw. der Verwertungsquote für Fe-Metalle wurde die Berechnung des notwendigen Stichprobenumfanges exemplarisch beschrieben. Für alle anderen Stoffströme und deren Anteile konnte dies analog erfolgen.

Der Anteil des Output-Stoffstromes Fe-Metall zur Verwertung setzte sich ohne nachgeschaltete Aufbereitungsschritte aus den Komponenten Fe-Anteil Wertstoffe, Fe-Anteil in der SLF und Fe-Anteil Schredderschrott zusammen. Die hochgerechnete Fe-Metallmasse berechnete sich dann gemäß Gleichung 2.

$$\hat{X}_{(Fe)} = \sum_{h=1}^{L} \left(\frac{M_{h,D}}{m_{h,D}} \cdot \sum_{j_D=1}^{m_D} \frac{N_{h,j_D}}{n_{h,j_D}} \cdot \left(\sum_{i_D=1}^{n_{h,j_D}} x_{(WSt(Me))_{hji}} + \sum_{i_D=1}^{n_{h,j_D}} x_{(ET)_{hji}} \right) + \frac{M_{h,S}}{m_{h,S}} \cdot \sum_{j_S=1}^{m_S} \frac{N_{h,j_S}}{n_{h,j_S}} \cdot \left(\sum_{i_S=1}^{n_{h,j_S}} x_{(SLF(Me))_{hji}} + \sum_{i_S=1}^{n_{h,j_S}} x_{(SSF(Me))_{hji}} + \sum_{i_S=1}^{n_{h,j_S}} x_{(FeSS)_{hji}} \right) \right)$$

Gleichung 2

$\hat{X}_{Fe}$	Schätzwert für die hochgerechnete Metallmasse
h	Laufindex für Schichten
L	Anzahl der Schichten
m_D	Anzahl der Demontageanlagen in der SP
M_D	Anzahl der Demontageanlagen in der GG
m_S	Anzahl der Schredder in der SP
M_S	Anzahl der Schredder in der GG
j_S/j_D	Laufindex für Anlagen Demontage/Schredder
i_S/i_D	Laufindex für Altfahrzeuge/ Restkarossen
n_{h,j_D}	Anzahl der Altfahrzeuge je Schicht und Demontageanlage in der SP
N_{h,j_D}	Anzahl der Altfahrzeuge je Schicht und Demontageanlage in der GG
n_{h,j_S}	Anzahl der Altfahrzeuge je Schicht und Schredderanlage in der SP
N_{h,j_S}	Anzahl der Altfahrzeuge je Schicht und Schredderanlage in der GG
ET	Ersatzteile

WSt(Me) Metall in den Wertstoffen
SLF(Me) Metalle in der Schredderleichtfraktion
SSF(Me) Metalle in der Schredderschwerfraktion
FeSS Eisen (hier Schredderschrott)

Die Varianz als maßgeblicher Parameter zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfanges berechnete sich nach Gleichung 3.

$$Var\left(\hat{\hat{X}}_{(Fe)}\right) = \sum_{h=1}^{L}\left(M_{h,D}^2 \cdot \left(1-\frac{m_{h,D}}{M_{h,D}}\right)\cdot\frac{Var\left(\hat{X}_{(Fe)h,D}\right)}{m_{h,D}} + M_{S,h}^2 \cdot \left(1-\frac{m_{h,S}}{M_{h,S}}\right)\cdot\frac{Var\left(\hat{X}_{(Fe)h,S}\right)}{m_{h,S}} + \frac{M_{h,D}}{m_{h,D}} \cdot \sum_{j_D=1}^{m_D} N_{h,j_D}^2 \cdot \left(1-\frac{n_{h,j_D}}{N_{h,j_D}}\right)\cdot\frac{Var\left(x_{(Fe)h,D}\right)}{n_{h,j_D}} + \frac{M_{h,S}}{m_{h,S}} \cdot \sum_{j_S=1}^{m_S} N_{h,j_S}^2 \cdot \left(1-\frac{n_{h,j_S}}{N_{h,j_S}}\right)\cdot\frac{Var\left(x_{(Fe)h,S}\right)}{n_{h,j_S}}\right)$$

Gleichung 3

$Var\left(\hat{\hat{X}}_{(Fe)}\right)$ Varianz des Schätzwerts der hochgerechnete Metallmasse über 2 Stufen
$Var\left(\hat{X}_{(Fe)h,D}\right)$ Varianz des Metalloutputs zwischen den Demontageanlagen je Schicht h
$Var\left(\hat{X}_{(Fe)h,S}\right)$ Varianz des Metalloutputs zwischen den Schredderanlagen je Schicht h
$Var\left(x_{(Fe)h,D}\right)$ Varianz des Metalloutputs innerhalb der Demontageanlagen (zwischen Altfahrzeugen) je Schicht h
$Var\left(x_{(Fe)h,S}\right)$ Varianz des Metalloutputs innerhalb der Schredderanlagen (zwischen Restkarossen) je Schicht h

Der hochgerechnete Gesamtwert für den Altfahrzeuginput ($\hat{\hat{Y}}_{(ELV)}$) und die Gesamtvarianz für den gesamten Altfahrzeuginput ($Var\left(\hat{\hat{Y}}_{(ELV)}\right)$) wurden analog hergeleitet. Den Gleichungen 4 und 5 sind die Berechnungen zu entnehmen.

$$\hat{\hat{Y}}_{(ELV)} = \sum_{h=1}^{L}\frac{M_{h,D}}{m_{h,D}}\cdot\sum_{j_D=1}^{m_D}\frac{N_{h,j_D}}{n_{h,j_D}}\cdot\sum_{i_D=1}^{n_{h,j_D}} x_{(ELV)_{h j_D i_D}}$$

Gleichung 4

$\hat{\hat{Y}}_{(ELV)}$ Schätzwert für die hochgerechnete Masse Altfahrzeuge (ELV)
$x_{(ELV)_{h j_D i_D}}$ i-te Altfahrzeugmasse je Schicht h und Stufe j_D

$$Var\left(\hat{\hat{Y}}_{(ELV)}\right) = \sum_{h=1}^{L}\left(M_{h,D}^2\cdot\left(1-\frac{m_{h,D}}{M_{h,D}}\right)\cdot\frac{Var\left(\hat{Y}_{(ELV)h,D}\right)}{m_{h,D}} + \frac{M_{h,D}}{m_{h,D}}\cdot\sum_{j_D=1}^{m_D} N_{h,j_D}^2\cdot\left(1-\frac{n_{h,j_D}}{N_{h,j_D}}\right)\cdot\frac{Var\left(y_{(ELV)h,D}\right)}{n_{h,j_D}}\right)$$

Gleichung 5

Var(Y^_((ELV))) Varianz des Schätzwerts der hochgerechnete Altfahrzeugmasse
Var(Y_((ELV)h,D)) Varianz der Altfahrzeugmasse zwischen den Demontageanlagen je Schicht h
Var(y_((ELV)h,D)) Varianz der Altfahrzeugmasse innerhalb der Demontageanlagen (zwischen Altfahrzeugen) je Schicht h

Da es sich bei den Variablen $X_{(U)}$ und $Y_{(U)}$ (wobei U für eine beliebige Untersuchungs- bzw. Zielvariable steht) um Zufallsvariablen handelte, konnte die Varianz für diese Variablen über eine Verhältnisschätzung verbessert werden. Durch diese Vorgehensweise wurde bei guter Korrelation zwischen Untersuchungsvariable ($X_{(U)}$) und Basisvariable ($Y_{(U)}$) eine Varianzreduktion und damit auch eine Reduktion des Stichprobenumfangs erreicht. Die Varianz für den Verhältnisschätzwert $Q_{(U)}$ (z. B. der Metallanteil) berechnete sich dann nach Gleichung 6.

$$Var\left(Q_{(U)}\right) = Q_{(U)}\cdot\left(\frac{Var\left(X_{(U)}\right)}{\left(X_{(U)}\right)^2} + \frac{Var\left(Y_{(U)}\right)}{\left(Y_{(U)}\right)^2} - 2\rho_{XY}\cdot\frac{\sqrt{Var\left(X_{(U)}\right)}}{X_{(U)}}\cdot\frac{\sqrt{Var\left(Y_{(U)}\right)}}{Y_{(U)}}\right)$$

Gleichung 6

bzw. nach Gleichung 7 über die Variationskoeffizienten.

$$Var(Q_{(U)}) = Q_{(U)} \cdot \left(Varkoeff(X_{(U)}) + Varkoeff(Y_{(U)}) - 2\rho_{XY} \cdot \sqrt{Varkoeff(X_{(U)}) \cdot Varkoeff(Y_{(U)})} \right)$$

Gleichung 7

$Q_{(U)}$ Verhältnisschätzwert der Zielvariable (z. B. Metallmasse $X_{(Fe)}$ / Altfahrzeugmasse $Y_{(ELV)}$)
$Var(Q_{(U)})$ Varianz des Verhältnisschätzwerts der Zielvariable
$Var(X_{(U)})$ Varianz des Untersuchungsmerkmals (z.B. Output-Stoffstrom Fe-Metall)
$Var(Y_{(U)})$ Varianz des Basismerkmals (z. B. Masse ELV)
$Varkoeff(X_{(U)})$ Variationskoeffizient des Untersuchungsmerkmals (z.B. Output-Stoffstrom Fe-Metall)
$Varkoeff(Y_{(U)})$ Variationskoeffizient des Basismerkmals (z. B. Masse ELV)
ρ_{XY} Korrelationskoeffizient zwischen $X_{(U)}$ und $Y_{(U)}$ (z. B. Metallmasse $X_{(Fe)}$ und Altfahrzeugmasse $Y_{(ELV)}$)

Über die Beziehung $Var(Q_{(U)}) = Var(Q_{(U)}) \cdot Y_{(U)}$ lässt sich die Varianz für die Untersuchungsvariable $X_{(U)}$ über die Verhältnisschätzung (Gleichung 8) berechnen.

$$Var(\hat{X}_{(U)}) = \frac{(N-n) \cdot N}{n} \cdot \left(Var(X_{(U)}) + Q_{(U)}{}^2 \cdot Var(Y_{(U)}) - 2\rho_{XY} \cdot Q_{(U)} \cdot \sqrt{Var(X_{(U)}) \cdot Var(Y_{(U)})} \right)$$

Gleichung 8

Der Variationskoeffizient berechnete sich analog nach Gleichung 9:

$$Varkoeff(\hat{X}_{(U)}) = \frac{(N-n)}{n \cdot N} \cdot \left(Var(X_{(U)}) + Var(Y_{(U)}) - 2\rho_{XY} \cdot \sqrt{Var(X_{(U)}) \cdot Var(Y_{(U)})} \right)$$

Gleichung 9

Werden die Varianzen in den Gleichungen für die mehrstufige geschichtete Zufallsauswahl durch die Beziehungen der Verhältnisschätzung ersetzt, errechnete sich bei hinreichend guter Korrelation zwischen Basis- und Zielvariable eine reduzierte Gesamtvarianz.

Der notwendige Stichprobenumfang errechnet sich für die Zufallsauswahl mit Zurücklegen nach Gleichung 10 (abgeleitet von Cochran[8]; Bezeichnung der Variablen angepasst). Die Berechnungsgleichung stimmt auch mit der im Leitfaden der Europäischen Kommission verwendeten Berechnung überein.

$$n_{not} = \left\lceil \frac{-\varepsilon_{rel,zul} \cdot \hat{X}_{(Fe)} \cdot N + \sqrt{\varepsilon_{rel,zul}^2 \cdot \overline{X}_{(Fe)}^2 \cdot N^2 + 4 \cdot u_{1-\alpha}^2 \cdot \mathrm{var}\left(\hat{X}_{(Fe)}\right) \cdot N}}{2 \cdot u_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\mathrm{var}\left(\hat{X}\right)}} \right\rceil$$

Gleichung 10

n_{not} Notwendiger Stichprobenumfang
$\mathrm{var}(\hat{X}_{(Fe)})$ Varianz des Schätzwertes (hier: Fe-Outputstrom)
$\varepsilon_{abs,zul}$ Maximal absoluter zulässiger Fehler
$\varepsilon_{rel,zul}$ Maximal relativer zulässiger Fehler
$\hat{X}_{(Fe)}$ Masse des Schätzwertes (hier: Fe-Outputstrom)
$u_{1-\alpha}$ Sicherheitsniveau oder Konfidenzkoeffizient der Standard-Normalverteilung (für α = 5 % ist $u_{1-\alpha}$ = 1,96)

[8] William G. Cochran; Stichprobenverfahren; Seite 96ff; Walter de Gruyter – Berlin – New York 1972

$t_{1-\alpha;n-1}$ Der Konfidenzkoeffizient aus der Student-T Verteilung bei einer Sicherheit von $1-\alpha$ und n-1 Freiheitsgraden

Wird für die Berechnung des notwendigen Stichprobenumfanges die Zufallsauswahl ohne Zurücklegen verwendet (bei großen Grundgesamtheiten und kleinen Auswahlsätzen kann die Endlichkeitskorrektur $\frac{(N-n)}{N-1}$ vernachlässigt werden. Für N >> n und N – 1 ≈ N wird die Endlichkeitskorrektur = 1 und kann vernachlässigt werden. Der notwendige Stichprobenumfang ohne Zurücklegen bei relativer Genauigkeitsanforderung berechnet sich nach Gleichung 11.

$$n_{not} = \frac{\left(Varkoeff\left(X_{(Fe)}\right)\right)^2 \cdot (t_{1-\alpha;n-1})^2}{\varepsilon_{rel,zul}{}^2}$$

Gleichung 11

bzw. bei absoluter Genauigkeitsanforderung nach Gleichung 12.

$$n_{not} = \frac{\left(Var\left(X_{(Fe)}\right)\right)^2 \cdot (t_{1-\alpha;n-1})^2}{\varepsilon_{abs,zul}{}^2}$$

Gleichung 12

Zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfanges mussten nun die dafür erforderlichen Varianzen oder Variationskoeffizienten in die Gleichungen 11 und 12 für alle relevanten Zielgrößen zwischen den Auswahlstufen (Demontage- und Schredderanlagen) und zwischen den Altfahrzeugen/ Restkarossen auf Basis der verfügbaren Literaturdaten (siehe 2.7.6.2) sowie der vorab erhobenen Daten an den Demontageanlagen (siehe 2.7.4 und 2.7.7) eingesetzt werden. Die gemäß Untersuchungsziel festgelegte Zielgröße oder eine Kombination von Zielgrößen mit der größten Streuung (Varianz) und der hierfür definierten Genauigkeit bestimmte letztendlich den erforderlichen Stichprobenumfang.

2.7.6.2 Ableitung des vorläufigen Stichprobenumfangs aus den Varianzen der Outputströme aus der Literatur

Aufgrund der Datenlage zu verfügbaren Varianzen aus zurückliegenden Schredderversuchen wurde die gleiche Varianz zunächst für alle Schichten angenommen. Weiterhin konnten Varianzen aus den verfügbaren Literaturdaten nur für die Zielgrößen Fe-Anteil und Schredderleichtfraktion ermittelt werden. Tabelle 16 ist eine Zusammenstellung der aus den Literaturdaten gewonnenen Varianzen zu entnehmen.

Tabelle 16: Schätzung der Varianzen für die Berechnung des notwendigen Stichprobenumfangs - Variationskoeffizienten ohne Schichtunterscheidung

Zielgrößen	Zwischen Demontageanlagen $Varkoeff(\hat{X}_{(U)h,D})$	Zwischen Altfahrzeugen $Varkoeff(x_{(U)h,D})$	Zwischen Schredderanlagen $Varkoeff(\hat{X}_{(U)h,S})$	Zwischen Restkarossen $Varkoeff(x_{(U)h,S})$
Ersatzteile (Demontageanlage)				
Wertstoffe (Demontageanlage)	60,56 %[1)]	52,2 %[3)]		
Schadstoffe (Demontageanlage)				
Eisen (hier Schredderschrott) (Schredderanlage)			23,8 %[1)]	52,2 %[2)]
Nichteisenmetalle in der (Schredderanlage)				
Schredderschwerfraktion gesamt (SSF)			34,0 %[1)]	
Nichtmetalle in der SSF (Schredderanlage)				
Schredderleichtfraktion gesamt (SLF)			77,2 %[1)]	84,2 %[2)]
Metalle in der SLF (Schredderanlage)				
Feinkorn in der SLF (Schredderanlage)				
Grobkorn in der SLF (Schredderanlage)				

Legende
$Varkoeff(\hat{X}_{(U)h,D})$ Variationskoeffizient des Untersuchungsmerkmals zwischen den Demontageanlagen je Schicht h
$Varkoeff(\hat{X}_{(U)h,S})$ Variationskoeffizient des Untersuchungsmerkmals zwischen den Schredderanlagen je Schicht h
$Varkoeff(x_{(U)h,D})$ Variationskoeffizient des Untersuchungsmerkmals innerhalb der Demontageanlagen (zwischen Altfahrzeugen) je Schicht h
$Varkoeff(x_{(U)h,S})$ Variationskoeffizient des Untersuchungsmerkmals innerhalb der Schredderanlagen (zwischen Restkarossen) je Schicht h
[1)] Berechnet aus den Mittelwerten der Schredderversuche (Gaillot, McCormack 2014; Department of Business 2015; Schubert, Jäckel, Suhm 2005; TÜV NORD GmbH 2006; SIGRAUTO 2010; Recycling magazine 2011)
[2)] Berechnet aus der Altfahrzeugmassenverteilung aus Studie mit Verhältnisschätzwerten Metallgehalt = 65 %; Anteil SLF = 25 %. (Schubert, Jäckel, Suhm 2005)
Aufgrund fehlender Daten wurde der Variationskoeffizient zwischen den Restkarossen der Schredderanlagen übernommen. Die Werte wurden durch die „fahrzeuggenaue“ Erhebung an den Demontageanlagen der ersten 30 Altfahrzeuge im Laufe der Auswertung nachkorrigiert (siehe Kapitel 2.7.4 und 2.7.7).

Durch Einsetzen der aus der Literatur ermittelten Gesamtvarianzen bzw. Variationskoeffizienten (es wurde der Variationskoeffizient mit dem höchsten Wert (hier: ca. 80 %) in die Berechnungsgleichung (Gleichung 11) für den notwendigen Stichprobenumfang eingesetzt. Daraus ergab sich der Gesamtstichprobenumfang in Höhe von 1.000 Stichprobeneinheiten bei einer Genauigkeitsanforderung von ± 5 %. In ist die Stichprobenaufteilung für den Demontage-/ Schredderversuch dargestellt. Bezüglich der Altfahrzeugschichten wurde die Stichprobe für die jeweilige Schicht

der zustandsveränderten Fahrzeuge (Gewichtsdifferenz von Fahrzeugbrief zu Realgewicht ≥ 30 %) größer gewählt als die der anderen Schichten, da hier von einer größeren Streuung auszugehen ist.

Tabelle 17: Festlegung des notwendigen Stichprobenumfangs Bereich Demontageanlagen (vorläufig)

Auswahleinheiten	Stichprobenumfang Anlagen	Altfahrzeugschicht < 1.000 kg	Altfahrzeugschicht 1.000 bis 1.250 kg	> 1.250 kg	Altfahrzeugschicht „Zustand“ = zustandsveränderte Altfahrzeuge mit einer Differenz von Masse Fahrzeugbrief zu Realgewicht > 30 %	Gesamt
Anlagen-Schicht hochwertig	1	100	100	100	200	500
Anlagen-Schicht mittel / niedrig	2 (3)*	34	34	34	67	169
		33	33	33	67	166
		33	33	33	66	165
Gesamt	3 (4)*	200	200	200	400	1.000

*) tatsächlich untersuchte bzw. geplante Anzahl an Anlagen (2 bzw. 3 für mittel/niedrig und 3 bzw. 4 für Gesamt

Tabelle 18: Festlegung des notwendigen Stichprobenumfangs Bereich Schredderanlagen (vorläufig)

Auswahleinheiten	Stichprobenumfang Anlagen	Restkarossenschicht: Differenz von Masse Fahrzeugbrief zu Realgewicht < 30 %	Restkarossenschicht: „Zustand“ = zustandsveränderte Restkarossen mit einer Differenz von Masse Fahrzeugbrief zu Realgewicht > 30 %	Gesamt
Anlagen-Schichten hochwertig	1	300	200	500
Anlagen-Schichten mittel/niedrig	1	300	200	500
Gesamt	2	600	400	1.000

*) tatsächlich untersuchte bzw. geplante Anzahl an Anlagen (2 bzw. 3 für mittel/niedrig und 3 bzw. 4 für Gesamt

2.7.7 Ermittlung des in der Untersuchung verwendeten Stichprobenumfanges an den Demontageanlagen

2.7.7.1 Vorgehen

Die Literaturrecherche zu Varianzen von Schadstoffen, Ersatzteilen und Wertstoffen (Metalle und Nichtmetalle), die für eine hinreichend genaue Ermittlung der notwendigen Stichprobenumfänge an Demontageanlagen erforderlich gewesen wären, hatte keine zufriedenstellenden Ergebnisse gebracht. Zur Verbesserung der Datenlage für die Ermittlung der notwendigen Stichprobenanzahlen wurde daher eine zusätzliche Voruntersuchung durchgeführt. Die Durchführung sowie Ergebnisse dieser Voruntersuchung sind in Kapitel 2.7.4 dargestellt. Für die Schredderanlagen war eine entsprechende Untersuchung aus praktischen Gründen nicht möglich.

Aus den Vorversuchen wurden die notwendigen Stichprobenumfänge für die entnommenen Schadstoffe, die ausgebauten Ersatzteile und die ausgebauten Wertstoffe (Metalle und Nichtmetalle) nach Gleichung 12 ermittelt (Tabelle 19 bis Tabelle 24).

Aus den erhobenen Daten der Voruntersuchung zu Massen der Altfahrzeuge und ausgebauten Bauteilen/ Komponenten konnten die fehlenden Angaben zu den Varianzen ermittelt werden. Auf Basis der Varianzen für die Fahrzeugmassen sowie der interessierenden Bauteile/ Komponenten nach Schichten wurde eine geschichtete Gesamtvarianz nach dem Modell der optimalen Schichtaufteilung nach Gleichung 15 berechnet.

In Tabelle 19 bis Tabelle 24 werden die Varianzen der Modelle ungeschichtet und geschichtet verglichen. Es ist zu sehen, dass eine Schichtung nach Altfahrzeugmasse zu einer Verringerung der Varianz führt. Im Falle der Ersatzteile konnte eine deutliche Verringerung um den Faktor 0,3 beobachtet werden. Im Falle der anderen Bauteile, den metallischen und nichtmetallischen Wertstoffen, war die Verringerung nicht so auffällig, jedoch trotzdem sichtbar.

Die Flüssigkeiten konnten hierbei vernachlässigt werden, da diese in keiner Relation zur sonstigen Zusammensetzung oder Schichtung standen. In allen Stoffgruppen führte eine Schichtung nach Gewicht und Zustand zu einer Reduktion des notwendigen Stichprobenumfanges.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass sich die Varianz der Grundgesamtheit durch die Schichtung mit optimaler Stichprobenaufteilung verringern ließ.

Tabelle 19: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Schicht 1 < 1.000 kg

Element	Flüssigkeiten	Schadstoffe	Ersatzteile	Metallische Wertstoffe	Nichtmetallische Wertstoffe
N	46	41	6	48	49
Varianz	138	13	1488	25	40
eps	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
n_{not}	556	128	1949	51	85

Legende
N Stichprobenumfang
Varianz Varianz des Stoffstroms
eps Maximal zulässiger relativer Fehler ± 5 %.
Max. Fehler ± 5 % für die einzelnen Zielgrößen (± 10 % für die Ersatzteile)
n_{not} Erforderlicher Stichprobenumfang für die Kampagne, ausgehend von der ermittelten Varianz.

Tabelle 20: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Schicht 2 1.000 – 1.250 kg

Element	Flüssigkeiten	Schadstoffe	Ersatzteile	Metallische Wertstoffe	Nichtmetallische Wertstoffe
N	43	34	8	44	44
Varianz	195	28	2923	53	53
eps	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
n_{not}	591	217	2400	70	70

Legende
N Stichprobenumfang
Varianz Varianz des Stoffstroms
eps Maximal zulässiger relativer Fehler ± 5 %.
Max. Fehler ± 5 % für die einzelnen Zielgrößen (± 10 % für die Ersatzteile)
n_{not} Erforderlicher Stichprobenumfang für die Kampagne, ausgehend von der ermittelten Varianz.

Tabelle 21: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Schicht 3 > 1.250 kg

Element	Flüssigkeiten	Schadstoffe	Ersatzteile	Metallische Wertstoffe	Nichtmetallische Wertstoffe
N	30	21	4	30	30
Varianz	209	21	13	37	37
eps	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
n_{not}	653	122	2080	45	45

Legende
N Stichprobenumfang
Varianz Varianz des Stoffstroms
eps Maximal zulässiger relativer Fehler ± 5 %.
Max. Fehler ± 5 % für die einzelnen Zielgrößen (± 10 % für die Ersatzteile)
n_{not} Erforderlicher Stichprobenumfang für die Kampagne, ausgehend von der ermittelten Varianz.

Tabelle 22: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Schicht 4 Zustandsverändert

Element	Flüssigkeiten	Schadstoffe	Ersatzteile	Metallische Wertstoffe	Nichtmetallische Wertstoffe
N	9	7	5	8	9
Varianz	388	9	9115	16	138
eps	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
n_{not}	1552	63	155	22	240

Legende
N Stichprobenumfang
Varianz Varianz des Stoffstroms
eps Maximal zulässiger relativer Fehler ± 5 %.
Max. Fehler ± 5 % für die einzelnen Zielgrößen (± 10 % für die Ersatzteile)
n_{not} Erforderlicher Stichprobenumfang für die Kampagne, ausgehend von der ermittelten Varianz.

Tabelle 23: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Schichtung gesamt*

Element	Flüssigkeiten	Schadstoffe	Ersatzteile	Metallische Wertstoffe	Nichtmetallische Wertstoffe
N	128	103	23	130	132
Varianz	201	21	4649	39	56
eps	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05
n_{not}	704	153	197	56	86

Legende
* Summe der Schichten 1 bis 4 nach optimaler Verteilung
N Stichprobenumfang
Varianz Varianz des Stoffstroms
eps Maximal zulässiger relativer Fehler ± 5 %.
Max. Fehler ± 5 % für die einzelnen Zielgrößen (± 10 % für die Ersatzteile)
n_{not} Erforderlicher Stichprobenumfang für die Kampagne, ausgehend von der ermittelten Varianz.

Tabelle 24: Zusammenfassung Ergebnisse Voruntersuchung - Ohne Schichtung

Element	Flüssigkeiten	Schadstoffe	Ersatzteile	Metallische Wertstoffe	Nichtmetallische Wertstoffe
N	128	103	23	130	132
Varianz	187	21	15994	49	64
eps	0,05	0,05	0,10	0,05	0,05
n_{not}	644	166	762	73	98

Legende
N Stichprobenumfang
Varianz Varianz des Stoffstroms
eps Maximal zulässiger relativer Fehler ± 5 %.
Max. Fehler ± 5 % für die einzelnen Zielgrößen (± 10 % für die Ersatzteile)
n_{not} Erforderlicher Stichprobenumfang für die Kampagne, ausgehend von der ermittelten Varianz.

Aufgrund der sehr hohen Streuung beim Stoffstrom der Ersatzteile wurde der üblicherweise verwendete zulässige Fehler von ± 5 %auf ± 10 % heraufgesetzt.

2.7.7.2 Endgültiger Stichprobenumfang

Da die größte Varianz den Umfang der Stichprobe bestimmte, konnte mit einer Anzahl von **197 Altfahrzeugen** eine ausreichende Genauigkeit erreicht werden.

Aufgrund der notwendigen Mindestanzahl von Altfahrzeugen für eine stabile Schredderanlage wurde der Stichprobenumfang von 197 auf 250 pro Versuch erhöht.

2.7.8 Verteilung des in der Untersuchung verwendeten Stichprobenumfangs auf die Schichten

Die aus der Gesamtvarianz bestimmte und aufgrund praktischer Randbedingungen erhöhte erforderliche Stichprobenanzahl von 250 Altfahrzeugen pro Versuch konnte grundsätzlich nach verschiedenen Modellen auf die Schichten verteilt werden:

- Gleichmäßige Aufteilung: Verteilung in gleichen Teilen unabhängig von sonstigen Parametern [Gleichung 13],

- Proportionale Aufteilung: Verteilung anhand der Größe der Schichten in der Voruntersuchung [Gleichung 14],
- Optimale Verteilung: Verteilung anhand der Varianzen aus der Voruntersuchung [Gleichung 15].

Tabelle 25: Gleichungen der Schichtenverteilung

Aufteilung	Formel	Nummer
Gleichmäßige Aufteilung	$n_h = \frac{n}{L}$	Gleichung 13
Proportionale Aufteilung	$n_h = n\frac{N_h}{N}$	Gleichung 14
Optimale Aufteilung	$n_h = n\frac{N_h S_h}{\sum_h N_h S_h}$	Gleichung 15

Legende
n = Stichprobenumfang (im vorherigen Teil bestimmt)
n_h = notweniger Stichprobenumfang Schicht h
L = Anzahl Schichten
N = Gesamtanzahl an Altfahrzeugen
N_h = Gesamtanzahl an Altfahrzeugen in Schicht h
S_h = Varianzen der Schicht h

Eine optimale Aufteilung des notwendigen Stichprobenumfanges auf die Schichten erschien in diesem Fall die beste Auswahl, da Informationen zu Schicht-Varianzen (S_h^2) vorlagen. Somit konnten Schichten, welche am meisten streuen, intensiver untersucht werden, während Schichten mit kleiner Streuung mit weniger Stichproben untersucht würden.

In der Tabelle 26 sind die Ergebnisse für die Berechnung aller in die Voruntersuchung eingeflossenen Fahrzeuge, Verteilung der Grundgesamtheit (der Voruntersuchung) sowie die rechnerisch optimale Aufteilung des notwendigen Stichprobenumfanges auf die Schichten aufgeführt.

Aufgrund der hohen Varianzen in den Schichten 3 (Altfahrzeuge > 1.250 kg) und 4 (zustandsveränderte Altfahrzeuge) sollten hierauf viele Stichproben entfallen, obwohl der Anteil an der Grundgesamtheit (der Voruntersuchung) mit 18 % bzw. 7 % der Altfahrzeuge (Demontagebetrieb 1 und Schredderanlage 1) und 14 % bzw. 7 % der Altfahrzeuge (Demontagebetrieb 2 und Schredderanlage 2) recht niedrig war. Die Varianzen in den Schichten 1 und 2 (kleine und mittlere Altfahrzeuge) waren deutlich niedriger als in den Schichten 3 und 4.

Die Anzahl an Altfahrzeugen und deren Verteilung auf die Schichten (N sowie N_h) wurden aus Informationen der Schredderanlagen über die Anlieferungen in 2015 bestimmt. Da in diesem Falle nur die Anzahlen und Massen der Altfahrzeuge dokumentiert wurden, mussten Daten zur Schicht 4 (zustandsverändert) geschätzt werden. Diese wurde festgesetzt als Mittelwert der Anteile von Schicht 4 aus der Demontage von den Demontagebetrieben 1 und 2 (7,2 %) aus der Voruntersuchung. Die restlichen Altfahrzeuge (Gesamtmenge Altfahrzeug minus Altfahrzeuge in Schicht 4) wurden entsprechend der prozentualen Anteile auf die anderen Schichten verteilt.

Der berechnete Anteil an zustandsveränderten Altfahrzeugen (Schicht 4) aus der Aufteilung von 2015 wurde in den Demontageversuchen angestrebt, konnte aber aufgrund der tatsächlichen Verhältnisse in 2016 nicht sicher erreicht werden. Die Anzahlen an zustandsveränderten Altfahrzeugen wurden so gut als möglich aufgefüllt.

2.7.9 Zusammenfassung Stichprobenumfang der Altfahrzeuge und Aufteilung auf die Schichten

Die statistische Analyse der vorliegenden Vor-Demontageergebnisse zeigt, dass für einen repräsentativen Demontageversuch je Anlage ca. 150 bis 200 Restkarossen erforderlich sind. Die Anforderung der Schredderanlage 1, dass für einen stabilen Betrieb der post-Schredder-Anlage mindestens 200 bis 250 Altfahrzeuge notwendig sind, führt zu einer Erhöhung des notwendigen Stichprobenumfangs, der aus statistischer Sicht nicht notwendig wäre. Für den Versuch Schredderanlage 2 hätte der Stichprobenumfang aus technischen und statistischen Gesichtspunkten auf 200 Stichprobeneinheiten reduziert werden können. Aus Gründen der Vergleichbarkeit zwischen den beiden Schredderanlagen und des geringen Mehraufwandes wurde darauf verzichtet. Der Stichprobenumfang je Schredderanlage und damit auch je Demontageanlage wurde auf 250 Stichprobeneinheiten festgelegt.

Die Stichprobenanzahl von 250 Altfahrzeugen kann aus statistischer Sicht nach verschiedenen Aufteilungsmodellen (gleichmäßig, proportional, optimal) erfolgen (prozentual auf vier Gewichtsklassen bzw. Schichten). Von diesen drei Möglichkeiten wurde die Aufteilung der Altfahrzeug-Stichprobe nach dem Modell der proportionalen Aufteilung festgelegt und ließ sich annähernd realisieren.

Für die methodisch präferierte optimale Aufteilung wurden Bedenken bezüglich der Erreichung der erforderlichen Anzahlen an Altfahrzeugen in der Schicht 4 „zustandsverändert“ gesehen. Weiterhin muss bei Anwendung der optimalen Schichtaufteilung die Verteilung der Altfahrzeuge nach Schichten in der Grundgesamtheit bekannt sein (für die Gewichtung in der Hochrechnung). Dies ist bei der proportionalen Schichtaufteilung nicht erforderlich. Durch den Überhang von ca. 100 Altfahrzeugen in der Stichprobe (mit 150 Altfahrzeugen für den Demontageversuch wird eine ausreichende Genauigkeit für die Output-Stoffströme Schadstoffe und Wertstoffe (Metalle und Nichtmetalle) erreicht) ist die proportionale Vorgehensweise auch bezüglich der zu erreichenden Genauigkeit zu rechtfertigen. Der geringfügige Verlust an Genauigkeit durch die proportionale Aufteilung wird durch die Erhöhung des Stichprobenumfanges ausgeglichen. Die Genauigkeit für die Stoffströme steigt mit jedem zusätzlichen Altfahrzeug in der Stichprobe (siehe Kapitel 7.5 und Kapitel 7.6).

Die tatsächlich realisierten Stichprobenumfänge sind Tabelle 26 und Tabelle 27, jeweils rechts, sowie Tabelle 29 und Tabelle 30 in Kapitel 2.8.6 zu entnehmen.

Tabelle 26: Verteilung der notwendigen Stichprobe auf die Schichten der Demontagebetriebe Teil 1 Demontagebetrieb 1 / Schredderanlage 1

Schichtbezeichnung	Schicht (h)	Anteil der Altfahrzeuge in Schichten[1]	Varianz der Briefgewichte[2] s_x	Standardabweichung (bestimmt aus Varianz) S_h	Menge an Fahrzeugen in Schichten[3] N_h	Gleichmäßige Aufteilung der Stichprobe (n) auf die Schichten (h) [Gl. 4] n_h	Proportionale Aufteilung der Stichprobe (n) auf die Schichten (h) [Gl. 5] n_h	Optimale Aufteilung der Stichprobe (n) auf die Schichten (h) [Gl. 6] n_h	Optimale Aufteilung der Stichprobe (n) auf die Schichten (h) [%] n_h	Realisiert Input Demontage	Realisiert Input Schredder
< 1.000 kg	1	42 %	3.751	61	2.283,81	63	105	67	27 %	85 (40 %)	99 (47 %)
1.000 kg - 1.250 kg	2	32 %	5.476	74	1.750,21	63	81	62	25 %	73 (35 %)	66 (31 %)
> 1.250 kg	3	18 %	34.627	186	1.004,10	63	46	89	36 %	40 (19 %)	33 (16 %)
Zustands-verändert	4	7 %	30.482	175	390,89	63	18	33	13 %	13 (6 %)	13 (6 %)
					N=5.429	n =250	n =250	n =250	n = 100 %	211 (100 %)	210 (100 %)

Legende
Anzahl Schichten (L) = 4
Stichprobenumfang (n) = 250
Gesamtmenge an Altfahrzeugen bezogen auf das Gesamtaufkommen von Altfahrzeugen bei Schredderanlage 1 in 2015[j] (N) = 5.429
[1)] Bestimmt aus Anlieferungen Schredderanlage 1 2015
[2)] Bestimmt aus Vordemontage bei Demontagebetrieb 1
[3)] Bezogen auf das Gesamtaufkommen von Altfahrzeugen bei Schredderanlage 1 in 2015

Tabelle 27: Verteilung der notwendigen Stichprobe auf die Schichten der Demontagebetriebe Teil 1 Demontagebetrieb 2 + 3 / Schredderanlage 2

Schichtbezeichnung	Schicht (h)	Anteil der Altfahrzeuge in Schichten[1]	Varianz der Briefgewichte[2] s_x	Stadardabweichung (bestimmt aus Varianz) S_h	Menge an Fahrzeugen in Schichten[3] N_h	Gleichmäßige Aufteilung der Stichprobe (n) auf die Schichten (h) [Gl. 4] n_h	Proportionale Aufteilung der Stichprobe (n) auf die Schichten (h) [Gl. 5] n_h	Optimale Aufteilung der Stichprobe (n) auf die Schichten (h) [Gl. 6] n_h	Optimale Aufteilung der Stichprobe (n) auf die Schichten (h) [%] n_h	Realisiert Input Demontage	Realisiert Input Schredder
< 1.000 kg	1	53 %	8.646	93	399,04	63	133	117	47 %	75 (35 %)	72 (34 %)
1.000 kg - 1.250 kg	2	25 %	4.997	71	191,17	63	64	43	17 %	81 (38 %)	80 (37 %)
> 1.250 kg	3	14 %	27.323	165	107,65	63	36	56	23 %	40 (19 %)	39 (18 %)
Zustands-verändert	4	7 %	38.562	196	54,14	63	18	34	13 %	18 (8 %)	23 (11 %)
					N=752	n = 250	n = 250	n = 250	n = 100 %	214 (100 %)	214 (100 %)

Legende
Anzahl Schichten (L) = 4
Stichprobenumfang (n) = 250
Gesamtmenge an Altfahrzeugen bezogen auf das Gesamtaufkommen von Altfahrzeugen bei Schredderanlage 2 in 2015[)] (N) = 752
[1)] Bestimmt aus Anlieferungen Schredderanlage 2 2015
[2)] Bestimmt aus Vordemontage bei Demontagebetrieb 2
[3)] Bezogen auf das Gesamtaufkommen von Altfahrzeugen bei Schredderanlage 2 in 2015

2.8 Versuchsablauf

2.8.1 Beschreibung der Betriebe und Anlagen

2.8.1.1 Demontagebetrieb der LRP-Autorecycling GmbH

Die LRP-Autorecycling GmbH ist eine Annahmestelle und ein anerkannter Altfahrzeugverwerter für Altfahrzeuge mit Hauptsitz in Krostitz, Sachsen. Auf einer Gesamtfläche von 60.000 qm werden ca. 7.000 Altfahrzeuge pro Jahr demontiert. Neben der reinen Demontage wird an der Hauptniederlassung und den anderen Standorten mit Fahrzeugen sowie Neu- und Gebrauchtteilen gehandelt. Ersatzteile werden an Werkstätten und Endkunden verkauft, wobei der Endkunde die Demontage teilweise selbsttätig durchführen kann. Durch den Online-Handel werden die Kunden europaweit erreicht.

Das Unternehmen gehört zu den größten Demontagebetrieben in Deutschland.

2.8.1.2 Demontagebetrieb der SMK Autoverwertung GmbH

Die SMK Autoverwertung GmbH mit Sitz in Hohenwarsleben bei Magdeburg, Sachsen-Anhalt, ist ein anerkannter Altfahrzeugverwerter, der ca. 1.000 Altfahrzeuge pro Jahr demontiert. Die Ersatzteile werden über den Direktverkauf vor Ort sowie einen eBay-Shop vertrieben.

Das Unternehmen gehört zu der Klasse der mittleren Demontagebetriebe.

2.8.1.3 Demontagebetrieb Autoservice Raik Melle

Die Firma Raik Melle in Leitzkau bei Gommern ist ein seit 2003 nach Altfahrzeugverordnung anerkannter Altfahrzeugverwerter und entsorgt jährlich ca. 150 Altfahrzeuge aller Automobilhersteller fachgerecht. Ersatzteile werden über den Direktvertrieb vermarktet.

Das Unternehmen gehört zu der Klasse der kleinen Demontagebetriebe.

2.8.1.4 Schredderanlage der Scholz-Gruppe in Espenhain

Die Scholz-Gruppe ist ein weltweit agierendes Recyclingunternehmen mit etwa 40 Standorten. Der Fokus der Aktivitäten liegt in Mittel- und Südosteuropa. Die Recyclingaktivitäten beschränken sich auf die Materialien Fe- und NE-Schrotte, neben entfrachteten Altfahrzeugen und Elektroaltgeräten werden Mischschrotte (Neu- und Altschrotte) verwertet. In Deutschland betreibt die Scholz-Gruppe vier Schredderanlagen sowie eine Post-Schredderanlage (PST) in Espenhain, in der alle Schredderrückstände, die an den deutschen Scholz-Schredderstandorten anfallen, zentral aufbereitet werden. Der Aufbereitungsstandort Leipzig-Espenhain gehört zu den modernsten und komplexesten Aufbereitungsstandorten der Metall-Entsorgungswirtschaft. Hier werden durchschnittlich pro Jahr ca. 300.000 t Stahlschrott und 260.000 t Schredderrückstände in Form von Schredderleicht- und Schwerfraktion aufbereitet. Der Schredderversuch wurde in den Anlagen in Espenheim durchgeführt.

Die Scholz-Gruppe kann bereits mehrere Erfahrungen mit Schredderkampagnen vorweisen. In 2006 wurde ein Großversuch mit fast 700 Altfahrzeugen durchgeführt, in 2008 mit über 500 Altfahrzeugen gemeinsam mit BMW und in 2011 speziell zur Verwertung von Elektroaltgeräten.

2.8.1.5 Schredderanlage der TSR-Gruppe in Brandenburg/Havel

Die TSR-Gruppe ist ein international aufgestelltes Recyclingunternehmen für Stahl- und Nicht-Eisenmetallschrotte mit ca. 150 operativen Standorten in Europa und Handelsbüros weltweit. TSR organisiert als Dienstleister Recyclingprozesse und liefert als Rohstoffversorger jährlich mehr als 7 Millionen Tonnen aufbereitete Sekundärrohstoffe an Stahlwerke, Gießereien und Metallhütten. Gruppenweit betreibt TSR 51 Schrottscheren, 21 Pressen und 10 Schredderanlagen sowie mehrere Fallwerke und Separationsanlagen für Nicht-Eisenmetalle. In Deutschland werden aktuell fünf Schredderanlagen unter dem Dach der TSR Recycling GmbH & Co. kg betrieben. Aktuell in Planung ist zudem die post-Schredder-(PST)-Anlage der REMINE GmbH in Brandenburg, einer 100 %-Tochter der TSR Recycling GmbH

& Co. kg. Hier werden zukünftig die in der Gruppe anfallenden Schredderrückstände aufbereitet werden. Für die Schredderkampagne wurde der Standort Brandenburg ausgewählt. Hierbei handelt es sich um einen Zerdirator mit einer Antriebsleistung von 6.000 PS, welche eine der leistungsfähigsten Schredderanlagen Deutschlands ist. In die Anlage integriert ist eine trockenmechanische Aufbereitungslinie für Schredderleicht- und -schwerfraktion, wie sie in ähnlicher Ausprägung an vielen Schredderanlagen vorhanden ist. Am Standort Brandenburg können jährlich über 600.000 t Schrott verarbeitet werden. Innerhalb der TSR-Gruppe werden regelmäßig Schredderkampagnen zur Ermittlung der Verwertungsquoten für Altfahrzeuge durchgeführt.

2.8.2 Informationsveranstaltung für einbezogene Betriebe

Um einen reibungsfreien und vollständigen Ablauf der Altfahrzeug- und Schredderkampagne zu garantieren, wurde für die beteiligten Betriebe eine Informationsveranstaltung organisiert. Diese richtete sich vor allem an die Demontagebetriebe, die keine Erfahrungen mit solchen Kampagnen hatten. Auf der Agenda der Veranstaltung standen Vorstellung, Optimierung der Versuchsprotokolle sowie der Ablauf und Terminplan der Kampagne. Die Demontagebetriebe wurden auf Besuche während der Kampagne, die zur Unterstützung beim Ablauf des Versuchs dienen sollen, hingewiesen. Außerdem wurden die Demontage- und Schredderanlage auf die bekannten, potenziellen Fehlerquellen und deren Vermeidung aufmerksam gemacht. Während dieser Veranstaltung wurden auch die in den folgenden Unterpunkten zusammengefassten Informationen besprochen.

2.8.3 Versuchsablaufs- und Probennahmekonzept

2.8.3.1 Demontagebetriebe

Die Ansammlung der Altfahrzeuge begann nach der Informationsveranstaltung und richtete sich nach den Kriterien des Stichprobenumfangs (siehe Kapitel 2.7.2.1). Entsprechend der Handlungsanleitung der Demontagebetriebe (siehe Kapitel 7.3 und Kapitel 7.4) konnten bereits vorher angefallene Altfahrzeuge aus Lagern oder einer Kundendemontage in der Kampagne verwendet werden konnten, wenn ihre Eingangsgewichte gemäß EU-Vorgaben (2005/293/EG) Kommission der Europäischen Gemeinschaft 2005) erfasst worden waren.

2.8.3.2 Schredderanlage

Ein Kriterium zur Festlegung der notwendigen Anzahl an Restkarossen war, da es sich bei dem Schredderversuch um einen Monoversuch ausschließlich mit Restkarossen handelte, sicherzustellen, dass die Anlage stabil betrieben wurde. Hierzu waren bei der Schredderanlage 2 mit integrierter Aufbereitungstechnik mindestens 25 Restkarossen erforderlich. Für den Versuch bei der Schredderanlage 1 mit nachgeschalteter Aufbereitungstechnik waren ca. 200 Restkarossen notwendig. Die Differenz in den notwendigen Restkarossen war bei Schredderanlage 1 bedingt durch den notwendigen höheren Input der nachgeschalteten Aufbereitungstechnik erforderlich. Eine zu geringe Aufgabemenge hätte nicht zu stabilen Sortierergebnissen der PST geführt. Die tatsächlich realisierte Anzahl an Restkarossen hängt darüber hinaus von der statistischen Notwendigkeit ab.

Vor der Durchführung der Schredderversuche war eine Anlagenreinigung durchzuführen. Hierfür wurde die Anlage leer gefahren, um eine exakte Dokumentation sämtlicher projektrelevanten Outputströme zu gewährleisten. Die Anlage musste gereinigt werden, insbesondere Bandanlagen und Bandübergabestellen, um eine Verschleppung von Material und somit eine Verfälschung der Ergebnisse zu verhindern. Zusätzlich mussten alle Lagerboxen und Abwurfstellen geleert werden, so dass eine Verwiegung der Fraktionen möglich war. Informationen und Handlungsanleitungen für die Schredderanlage befinden sich in den Kapiteln 7.5 und 7.6.

2.8.4 Zeitplan

Die Kampagne wurde nach dem in Tabelle 28 aufgeführten Zeitplan abgewickelt.

Tabelle 28: Zeitplan

Datum	Aktion / Frage
16.09.2015	Beginn der Kampagne
01.10.2015	Durchführungskonzept erstellt
18.12.2015	Information der beteiligten Betriebe
18.12.2015	Beginn der Demontage
18.12.2015	Ansammeln von Altfahrzeugen
28.01.2016 und 08.02.2016	Besuch des Demontagebetriebs 1 Besuch der Demontagebetriebe 2 und 3
01.04.2016	Festlegung der Anzahl der zu schreddernden Altfahrzeuge und der Verteilung auf die Schichten
06.04.2016 07.04.2016	Besuch des Demontagebetriebs 1 Besuch der Demontagebetriebe 2 und 3 (weitere Besuchstermine nicht notwendig)
28.04.2016	Planung Probennahme – Schredderanlage 1
05.05.2016	Planung Probennahme – Schredderanlage 2
10.05.2016 und 11.05.2016	Schredderversuch und Postschredderversuch – Schredderanlage 1
19.05.2016	Schredderversuch – Schredderanlage 2
30.06.2016	Auswertung/Ergebnis/Bericht
30.06.2016	Ende der Kampagne

2.8.5 Vorlagen für Versuchsprotokolle

Die Versuchsprotokolle wurden in Tabellenform erstellt. In Ihnen waren alle zu dokumentierenden Größen, gemäß den Anleitungen der Demontagebetriebe, sowie die zusätzlichen Informationen Fotos und versuchsinterne Altfahrzeugnummer enthalten. Anschließend wurden sie digital an die beteiligten Betriebe versendet. Exemplarisch zeigen Abbildung 13und Abbildung 14 Auszüge aus den Versuchsprotokollen.

Abbildung 13: Auszug aus dem Versuchsprotokoll Demontagebetrieb

				1	2	
	Input / Charakterisierung des Altfahrzeugs					
a	Fahrzeugidentifikationsnummer					
b	Marke					
c	Typ					
d	Erstzulassung (tt.mm.jjjj)					
e	Dieselmotor oder Benzinmotor					
f	Unfallfahrzeug					
g	Vollständigkeit					
h	fehlende Bauteile	z. B. Motor, Getriebe, Vorder-/Hinterachse, vorderer/hinterer Stoßfänger				
i	Leergewicht lt. Fahrzeugbrief		kg			
j	Leergewicht Eingang	16 01 04*	kg			
k	Leergewicht Ausgang	16 01 206	kg			
l	Foto Eingang					
m	Foto Ausgang					
n	Verwertungsnachweis			☐ nicht vorhanden	☐ nicht vorhanden	☐ n
	Bestand oder Neuzugang			☐ Bestand	☐ Bestand	☐ E
o	wenn Bestand, Angabe der Masse an entnommenen Ersatzteilen					
	Output	Abfallschlüssel-nummer				
01	Summe aller Abfallmengen/Stoffe		kg			
	davon: Abfallarten/Stoffe gemäß Schlüssel					
02	nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralbasis	13 01 10*	kg			
	Verbleibsweg (Fa. Anschrift) ☐ Ausland				☐ Ausland	☐ A
	Verbleibszweck(Wiederverwendung, stoffliche Verwertung, energetische Verwertung,					

Abbildung 14: Auszug aus dem Versuchsprotokoll einer Schredderanlage

		Input			
		Fraktion (lt. Fließschema)	ASN	Gewicht [Kg]	zusätzlich Infos / Fotos separat
		Restkarossen			
		Output			
		Fraktion (Beispiel lt. Fließschema Stand Okt 2015)	ASN	Gewicht [Kg]	zusätzlich Infos / Fotos separat
1	Fe-Fraktion nach Schredder				
		Verbleibsweg			
		Verbleibszweck			☐ Ausland
2					
					☐ Ausland

Durchführung des Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderversuchs

2.8.6 Demontageversuche

Die Demontageversuche wurden in dem Zeitraum von Dezember 2015 bis April 2016 durchgeführt. Mit den Demontagebetrieben wurde das Vorgehen vor Ort besprochen. Die Altfahrzeuge waren zu verwiegen, zu fotografieren, mit einer fortlaufenden, versuchsinternen Altfahrzeugnummer zu versehen, trockenzulegen, zu demontieren und anschließend zu verpressen. Die notwendigen Transporte der Restkarossen zwischen den Demontagebetrieben und Schredderstandorten wurden organisiert. Die

erzeugten Fraktionen an demontierten Bauteilen/Materialien wurden – während der Vorversuche fahrzeugscharf, anschließend als Gesamtfraktionen – verwogen.

Ergänzend zu der Informationsveranstaltung für die Altfahrzeugverwertungsbetriebe im Dezember 2015 fanden zwei Besuche der Demontagebetriebe statt. Hierbei wurden der Stand der Sammlung und Demontage von Altfahrzeugen mit der dazugehörigen Dokumentation u. a. mit einer Fotodokumentation festgehalten.

Während der erste Besuch zur Klärung offener Fragen zum Demontageversuch und Diskussion von Verbesserungsvorschlägen diente, wurde bei dem zweiten Besuch im April 2016 vor allem der Stand der Demontage festgehalten. Außerdem konnten die Altfahrzeugverwertungsbetriebe Ausblicke zur Erreichung der Ziele geben.

Insgesamt wurden im Demontagebetrieb 1 211 Altfahrzeuge, von den Demontagebetrieben 2 und 3 zusammen 214 Altfahrzeuge demontiert, die sich wie in Tabelle 26 aufgeschlüsselt auf die Schichten verteilten. Die Tabelle 29 und Tabelle 30 zeigen zusammengefasst die realisierte Schichtverteilung und die daraus entsprechende Anzahl an zu demontierenden Altfahrzeugen.

Tabelle 29: Schichtverteilung Demontagebetrieb 1

Schichten	Schichtverteilung [%]	Entsprechende Anzahl Altfahrzeuge
Schicht 1 (< 1.000 kg)	40	85
Schicht 2 (1.000 kg – 1.250 kg)	35	73
Schicht 3 (> 1.250 kg)	19	40
Schicht 4 (zustandsverändert)	6	13
Summe Stichprobe	100	211

Tabelle 30: Schichtverteilung Demontagebetrieb 2 und Demontagebetrieb 3

Schichten	Schichtverteilung [%]	Entsprechende Anzahl Altfahrzeuge
Schicht 1 (< 1.000 kg)	35	75
Schicht 2 (1.000 kg – 1.250 kg)	38	81
Schicht 3 (> 1.250 kg)	19	40
Schicht 4 (zustandsverändert)	8	18
Summe Stichprobe	100	214

Im Ergebnis standen 425 fortlaufend nummerierte, demontierte und dokumentierte Restkarossen für die Schredderversuche zur Verfügung. Da die Altfahrzeuge durch die Demontage leichter wurden, änderte sich für einen Teil der Altfahrzeuge/Restkarossen die Gewichtsklasse/Schichtzugehörigkeit.

2.8.7 Schredderversuche

Am 10. und 11.05.2016 bzw. am 19.05.2016 fanden die Schredderversuche bei den beiden Schredderanlagen statt. Seitens der Anlagenbetreiber wurden die vorbereiteten, organisatorischen Abläufe hinsichtlich der Durchführung des Versuches vorab erläutert.

Neben der Verwiegung der erzeugten Fraktionen wurden zusätzlich Proben zur Analyse (siehe Kapitel 2.11.3) genommen.

Die erzielte Aufteilung der Restkarossen auf die Gewichtsklassen der 4 Schichten wich von der ursprünglichen Planung (siehe Tabelle 26) ab, weil im Rahmen der zeitlichen Möglichkeiten und der Marktlage nicht auf entsprechende Altfahrzeuge zugegriffen werden konnte.

In Tabelle 31 ist die realisierte Schichtverteilung bei einer Anzahl von 210 zu schreddernden Restkarossen in der Schredderanlage 1 dargestellt. Von den 211 demontierten Restkarossen des Demontagebetriebs 1 gelangten lediglich 210 in den Schredderversuch.

Tabelle 31: Schichtverteilung Schredderanlage 1

Schichten	Schichtverteilung [%]	Entsprechende Anzahl Restkarossen
Schicht 1 (< 1.000 kg)	47	99
Schicht 2 (1.000 kg – 1.250 kg)	31	66
Schicht 3 (> 1.250 kg)	16	32
Schicht 4 (zustandsverändert)	6	13
Summe Stichprobe	100	210

Tabelle 32 zeigt die realisierte Schichtverteilung in der Schredderanlage 2. Zu schreddern war eine Anzahl von 214 Restkarossen.

Tabelle 32: Schichtverteilung Schredderanlage 2

Schichten	Schichtverteilung [%]	Entsprechende Anzahl Restkarossen
Schicht 1 (< 1.000 kg)	34	72
Schicht 2 (1.000 kg – 1.250 kg)	37	80
Schicht 3 (> 1.250 kg)	18	39
Schicht 4 (zustandsverändert)	11	23
Summe Stichprobe	100	214

In den beiden Schredderanlagen entstanden größtenteils verschiedene Outputfraktionen. Ein direkter Vergleich der Stoffströme war somit nur bedingt möglich.

In Tabelle 33 sind die betriebsinternen Bezeichnungen der Outputfraktion der beiden Schredderanlagen sowie weitere allgemeine Informationen aufgelistet.

Tabelle 33: Betriebsinterne Bezeichnungen von Fraktionen aus der Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker (+ metallhaltige Fraktion)

Schredderanlage 1	Schredderanlage 2
Stahlprodukte	Stahlschrott / Sorte 4 / Sorte 84
Cu-Fe-Anker	Cu-Fe-Anker
Sonstige metallhaltige Fraktionen	

Tabelle 34: Betriebsinterne Bezeichnungen von Fraktionen aus der Schredderschwerfraktion (SSF)

Schredderanlage 1	Schredderanlage 2
Stahlprodukte	Mischmetalle M1
NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	Mischmetalle M2
Mineralik < 2 mm	Mischmetalle M3/M4

Schredderanlage 1	Schredderanlage 2
Staubfraktionen	Mischmetalle aus Handklaubung SSF
Kunststoffe	VA-Restfraktion grob
Ersatzbrennstoffe	VA-Restfraktion fein
	VA-Schrott
	Messing
	Kupfer
	Aluminium grob
	SSF Überkorn
	SSF Absieb
	Eisenstaub
	Leiterplatten

Tabelle 35: Betriebsinterne Bezeichnungen von Fraktionen aus der Schredderleichtfraktion (SLF)

Schredderanlage 1	Schredderanlage 2
Stahlprodukte	Sorte 4 aus Überbandmagnet
NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	Mischmetalle aus SLF
	SLF grob
Mineralik	SLF fein
Staubfraktionen	Filterstaub
Ersatzbrennstoffe	
Kunststoffe	

Tabelle 36: Betriebsinterne allgemeine Bezeichnungen

Begriff	Bedeutung
Verbleibsweg	Der Ort/die Branche, an den das Material zur weiteren Entsorgung/Behandlung abgegeben wird.
Verbleibszweck	Art der Verwertung, unterteilt in stoffliche, energetische Verwertung und Deponie.

2.8.7.1 Durchführung der Versuche

Die Restkarossen (siehe Abbildung 15) wurden einzeln aufgeben und an Hand der fortlaufenden, versuchsinternen Nummerierung dokumentiert, um ein mögliches Abfließen von Karossen beim Transport von den Demontagebetrieben zu den Schredderanlagen auszuschließen. Bei der Umschichtung der Restkarossen kam es zu partiellen Verlusten von Anbauteilen, welche sich durch den Pressprozess gelöst hatten. Diese wurden an allen Stellen aufgefegt und dem Prozess wieder zugeführt.

Abbildung 15: Angesammelte Menge von Restkarossen vor dem Schredderversuch, links Schredderanlage 2, rechts Schredderanlage 1



Bildquelle: mitSystem GmbH

Die Restkarossen wurden geschreddert (siehe Abbildung 16) und gemäß den technischen Gegebenheiten der Anlagen in Stahlschrott, Schredderleicht- und Schredderschwerfraktion getrennt und aufbereitet (siehe Bildquelle: mitSystem GmbH

Abbildung 17 und Bildquelle: mitSystem GmbH

Abbildung 18). Die Outputfraktionen wurden gemäß der Probennahmekonzepte (siehe Kapitel 7.5 und Kapitel 7.6) beprobt.

Abbildung 16: Eingang Schredder während des Versuches, links Schredderanlage 2, rechts Schredderanlage 1



Bildquelle: mitSystem GmbH

Abbildung 17: Schredderleichtfraktion, links Schredderanlage 2, rechts Schredderanlage 1



Bildquelle: mitSystem GmbH

Abbildung 18: Links: Schredderanlage 2, aufbereitete Fraktionen der Schredderschwerfraktion, rechts: Probennahmeort Schredderanlage 2, Stahlprodukt (Sorte 4)



Bildquelle: mitSystem GmbH

2.8.7.2 Durchführung der Probennahme

Die Outputfraktionen wurden von den Versuchsbeteiligten begutachtet, dokumentiert und eingeschätzt. Die ausführliche Darstellung der Probengewinnung, Probenaufbereitung, (chemischen und sonstigen) Analysen sowie der Ergebnisse findet sich in Kapitel 3.

Die Probennahmen wurden, wie in den Handlungsanleitungen zum Probennahme- und Analysenkonzept, Kapitel 7.5 und Kapitel 7.6 beschrieben, für die Outputfraktionen:

- Probe 1: Stahlprodukt,
- Probe 2: Metallmischfraktion nach Handklaubung,
- Probe 3: Schredderschwerfraktion (SSF < 2 mm bzw. < 18 mm),
- Probe 4: Schredderleichtfraktion (SLF < 180 mm)

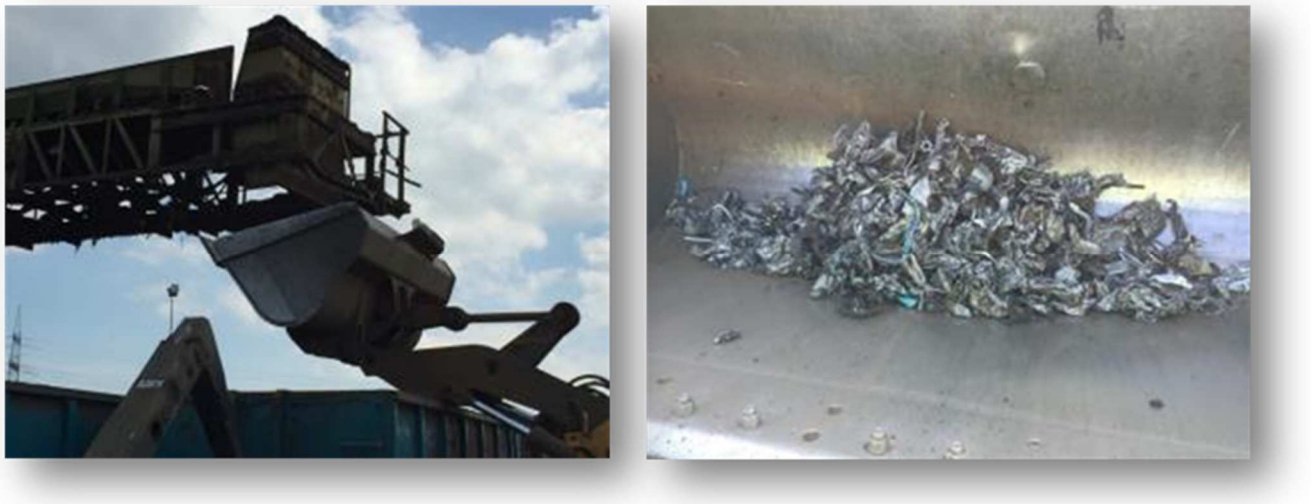
durch akkreditierte Probennehmer durchgeführt.

Für die SSF und SLF wurden jeweils drei möglichst repräsentative Mischproben erstellt, homogenisiert, verjüngt und als Laborprobe à 60 Liter angefertigt.

Die Beprobung des Stahlproduktes erfolgte aus dem Fallstrom mittels Radlader (Abbildung 19 links). Teilproben aus einem Förderstrom von jeweils 10 Sekunden wurden aus dem Fallstrom entnommen (Abbildung 19 rechts) und für die anschließende Beprobung separiert (Bildquelle: mitSystem GmbH

Abbildung 20 links).

Abbildung 19: Links: Radlader bei Einzelprobenentnahme aus Fallstrom Stahlprodukt Schredderanlage 1; rechts: Radladerschaufel mit Einzelprobe Stahlprodukt Schredderanlage 1



Bildquelle: mitSystem GmbH

Abbildung 20: Links: Stahlprodukt Erstellung Laborproben; rechts: Metallmischfraktion nach Handklaubung Probe 2 Schredderanlage 1



Bildquelle: mitSystem GmbH

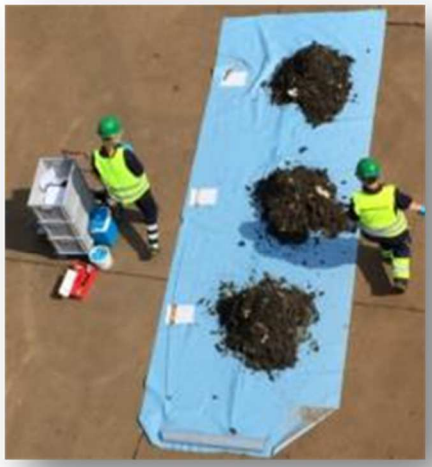
Die Beprobung der Metallmischfraktion erfolgte aus der endabgelagerten Masse (Haufen, Container) (Abbildung 21 rechts).

Die Beprobung der SLF erfolgte aus dem Fallstrom (Abbildung 21 links) durch die Entnahme von zeitlich versetzten 12 Teilproben für jede Mischprobe. Die Mischproben sind in Abbildung 21 rechts und die Verjüngung in Bildquelle: mitSystem GmbH

Abbildung 22 dargestellt.

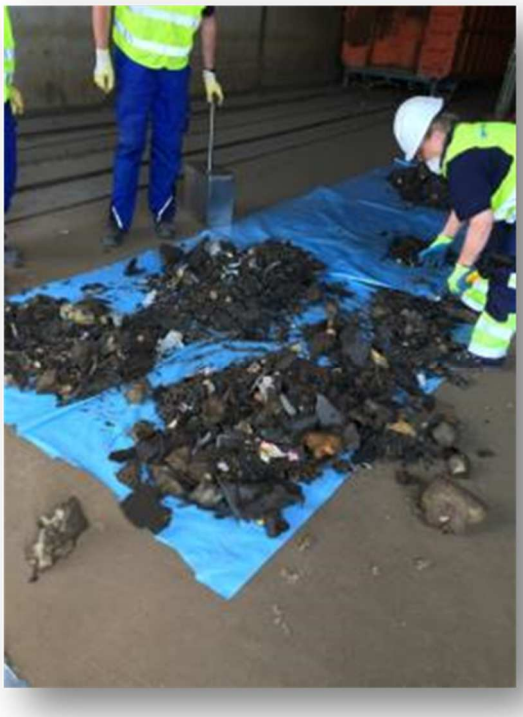
Abbildung 21: Links: Probenentnahme Fallstrom SLF Schredderanlage 2; rechts: Mischproben SLF Schredderanlage 2





Bildquelle: mitSystem GmbH

Abbildung 22: Verjüngung Mischprobe SLF Schredderanlage 1



Bildquelle: mitSystem GmbH

Die Beprobung der SSF erfolgte aus der endabgelagerten Masse (kleines Haufwerk, Abbildung 23 links). Abbildung 23 rechts zeigt die Verjüngung der Mischprobe.

Abbildung 23: Links SSF endabgelagert Schredderanlage 1; rechts Verjüngung Mischprobe SSF < 2 mm Schredderanlage 1



Bildquelle: mitSystem GmbH

2.9 Ergebnisse der Kampagne

Die Darstellung der Ergebnisse in den folgenden Kapiteln ist entsprechend der Hauptfragestellungen der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne (siehe Kapitel 2.3) aufgebaut.

2.9.1 Durchschnittsalter der Altfahrzeuge

Das Durchschnittsalter der Altfahrzeuge wurde über das Datum der Erstzulassung aus dem Fahrzeugbrief ermittelt. Das Ergebnis ist in Tabelle 37 zusammengefasst. Tabelle 75 in Kapitel 2.12.2 schlüsselt die Altersstruktur genau auf und setzt sie in Relation zur Altersstruktur eines britischen Schredderversuchs. Abbildung 82 und Abbildung 83 in Kapitel 4.3.1.3 werten die Altersstruktur grafisch aus. Tabelle 74 in Abschnitt 2.12.2 liefert darüber hinaus eine Auswertung nach Fahrzeugmarken.

Tabelle 37: Durchschnittsalter der Altfahrzeuge

Ergebnis	Demontagebetrieb 1	Demontagebetrieb 2	Demontagebetrieb 3
Anzahl Altfahrzeuge	211	79	6
Durchschnittsalter [Jahre]	19,53	18,14	20,85

2.9.2 Demontage

2.9.2.1 Input-/quotenrelevante Outputströme Demontagebetriebe

Die Erhebung des Gesamtgewichts der Altfahrzeuge erfolgte auf zwei Wegen:

- Nutzung der Angaben zum Leergewicht laut Fahrzeugbrief,
- Wiegen des Altfahrzeuges.

Die Daten, die durch die Demontagebetriebe ermittelt wurden, sind in Tabelle 38 dargestellt. Da bei Demontagebetrieb 3 nur 6 Fahrzeuge behandelt wurden und der Output der beiden Betriebe für den Schredderversuch zusammengefasst wurde, sind die Ergebnisse dieser beiden Betriebe zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 38: Inputströme Demontagebetriebe

Ergebnis	Demontagebetrieb 1	Demontagebetriebe 2 + 3
Anzahl Eingang	211	214
Gesamtgewicht Altfahrzeuge, Eingang (Waage) kg gesamt	212.760	224.212
Gesamtgewicht Altfahrzeuge, Eingang (Waage) kg pro Altfahrzeug	1.008,34	1.047,72
Gesamtgewicht Altfahrzeuge, Eingang (Leergewicht laut Fahrzeugbrief)[1)] kg gesamt	221.408	234.635
Gesamtgewicht Altfahrzeuge, Eingang (Leergewicht laut Fahrzeugbrief) kg pro Altfahrzeug	1.049,33	1.096,43

[1)] siehe Definitionen auf Seite 35. Details bezüglich der Korrektur des Briefgewichts nach AltfahrzeugV siehe 4.3.2.3.

Es ergab sich eine Differenz von ca. 39 kg zwischen den mittels Waage erfassten Gewichten pro Altfahrzeug zwischen den Demontagebetrieben und von ca. 47 kg Leergewicht laut Fahrzeugbrief. Dies entspricht ca. 4 % bezogen auf das durchschnittliche Fahrzeuggewicht in Demontagebetrieb 1. Das Leergewicht pro Altfahrzeug laut Fahrzeugbrief lag beim Demontagebetrieb 1 um 41 kg und bei den Demontagebetrieben 2 und 3 um 49 kg höher, als das am Eingang gewogene Altfahrzeuggewicht. Dies entspricht ca. 4 % bzw. 5 % des gewogenen Fahrzeuggewichtes.

Eine differenzierte Betrachtung unter Berücksichtigung der notwendigen Korrekturen der Leergewichte laut Fahrzeugbrief erfolgt in Kapitel 4.3.2.5.

Tabelle 39 zeigt die quotenrelevanten Outputströme pro Altfahrzeug und deren Verbleibsinformationen. Außerdem zeigt sie die quantitative Nutzung der einzelnen Abfallschlüsselnummern (ASN) in Bezug auf die Stoffströme in den einzelnen Betrieben auf. Hierbei gibt es vermutlich auf Grund von Interpretationsspielräumen bei der Verwendung der Schlüssel Unterschiede zwischen den Demontagebetrieben.

Tabelle 39: Quotenrelevante Outputströme Demontagebetriebe

Outputstrom	ASN	Demontage-betrieb 1	Verbleibsin-formationen	Demontage-betrieb 2	Verbleibsin-formationen	Demontage-betrieb 3	Verbleibsinfor-mationen
Summe aller demontierten Bauteile/Materialien in kg ingesamt	---	21.313,20		23.834,6		611,10	
Summe aller demontierten Bauteile/Materialien in kg pro Altfahrzeug		101,01		114,58		101,87	
nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralbasis (kg/Altfahrzeug)	13 01 10*	0,00		5,12	R	0,00	
nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis (kg/Altfahrzeug)	13 02 05*	2,77	R	0,00		0,00	
synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle (kg/Altfahrzeug)	13 02 06*	0,00		0,00		4,11	R
Heizöl und Diesel (kg/Altfahrzeug)	13 07 01*	0,33	W	0,99	W	0,00	
Benzin (kg/Altfahrzeug)	13 07 02*	15,45	W	10,12	W	14,13	W
Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW, HFKW (kg/Altfahrzeug)	14 06 01*	0,10	W	0,05	W	0,18	W
Altreifen (kg/Altfahrzeug)	16 01 03	25,72	R/E	31,46	R/E	31,05	R/E
Ölfilter (kg/Altfahrzeug)	16 01 07*	0,47	R	0,00		0,00	
Bremsflüssigkeiten (kg/Altfahrzeug)	16 01 13*	0,90	R	0,17	R	0,33	R
Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten (kg/Altfahrzeug)	16 01 14*	3,70	R	4,68	R	1,58	R
Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 14 fallen (kg/Altfahrzeug)	16 01 15	0,00		0,02	R	3,03	R
Kunststoffe (kg/Altfahrzeug)	16 01 19	0,00		0,12	W	0,00	
Glas (kg/Altfahrzeug)	16 01 20	0,00		0,04	W	0,00	

Outputstrom	ASN	Demontage-betrieb 1	Verbleibsin-formationen	Demontage-betrieb 2	Verbleibsin-formationen	Demontage-betrieb 3	Verbleibsinfor-mationen
metallische Bauteile/Ersatzteile (Gewichts-anteil) (kg/Altfahrzeug)	16 01 22 01	9,51	W	13,97	W	0,00	
nicht metallische Bauteile/Ersatzteile (Ge-wichtsanteil) (kg/Altfahrzeug)	16 01 22 02	1,09	W	0,78	W	0,00	
Bleibatterien (kg/Altfahrzeug)	16 06 01*	9,10	R	9,94	R	8,47	R
gebrauchte Katalysatoren, die durch gefähr-liche Stoffe verunreinigt sind (kg/Altfahr-zeug)	16 08 07*	3,49	R	3,35	R	4,47	R
zusätzliche Demontage (Platinen, Stellmo-tore, Elektronik) (kg/Altfahrzeug)	---	0,00		0,01	W	0,08	W
Eisenmetalle (Stahlfelgen) (kg/Altfahrzeug)	16 01 17	25,98	R	0,00		0,00	
Nichteisenmetalle (Alufelgen) (kg/Altfahr-zeug)	16 01 18	3,40	R	0,00		0,00	
Aluminium (kg/Altfahrzeug)	17 04 02	0,00		6,46	R	0,00	
Eisen und Stahl (kg/Altfahrzeug)	17 04 05	0,00		27,31	R	34,32	R
gemischte Metalle (kg/Altfahrzeug)	17 04 07	0,00		0,00		0,10	R

Legende:
R: stoffliche Verwertung
E: energetische Verwertung
W: Wiederverwendung
B: Beseitigung
R/E: 50 % stoffliche Verwertung und 50 % energetische Verwertung

Von dem Demontagebetrieb 3 fehlten detaillierte Verbleibsinformationen. Es wurden von diesem Betrieb lediglich 0,3 % der Altfahrzeuge beigetragen. Daraufhin wurde die Aufteilung des Demontagebetriebs 2 als Basis verwendet und entsprechend hochgerechnet. Demontagebetrieb 2 und Demontagebetrieb 3 kommen aus der gleichen Region und haben ähnliche Absatzwege.

Tabelle 40: Mengenbilanz Eingang und Ausgang der Demontagebetriebe

Bilanzelement	Demontagebetrieb 1 (n=211) kg/Stück	Demontagebetrieb 1 (n=211) Anteil an Eingangsgewicht	Demontagebetrieb 2 (n=208) kg/Stück	Demontagebetrieb 2 (n=208) Anteil an Eingangsgewicht	Demontagebetrieb 3 (n=6) kg/Stück	Demontagebetrieb 3 (n=6) Anteil an Eingangsgewicht
Durchschnittsgewicht Altfahrzeuge, Eingang (Waage)	1.008,34	100 %	1.049,03	100 %	1.002,17	100 %
Durchschnittliches Gewicht der demontierten Bauteile/Materialien	101,01	10,02 %	114,59	10,92 %	101,85	10,16 %
Durchschnittsgewicht Restkarossen, Ausgang (Waage)	891,04	88,37 %	932,11	88,86 %	896,33	89,44 %
Mengenverlust Demontage	16,29	1,61 %	2,33	0,22 %	3,99	0,39 %

Die Mengenbilanz zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den ermittelten Altfahrzeugeingangsgewichten und den Restkarossenausgangsgewichten. Die Differenzen von 0,2 % bis 1,6 % sind durch Verluste beim Handhaben und Verpressen zu erklären. Der in Kapitel 2.7.2.1 vermutete Zusammenhang zwischen Vermarktungsstrategie und Demontagetiefe konnte über das durchschnittliche Gewicht der demontierten Bauteile/Materialien nicht bestätigt werden. Das durchschnittliche Gewicht der demontierten Bauteile/Materialien ist bei allen Demontagebetrieben nahezu gleich und liegt bei ca. 10 % des gewogenen Durchschnittsgwichtes Altfahrzeug am Eingang zum Demontagebetrieb.

Kapitel 4.3.2.4 enthält ausführliche statistische Auswertungen zu den Gewichten der Altfahrzeuge. Zum Mengenverlust siehe Kapitel 2.11.2.

2.9.2.2 Aufteilung in Metall- und Nichtmetallanteil

Tabelle 41 zeigt die aus den Erhebungen der Demontagebetriebe abgeleitete Aufteilung der Outputfraktionen in Metall und Nichtmetall.

Tabelle 41: Demontagebetriebe, Aufteilung Output, Metall / Nichtmetall in kg/Altfahrzeug

Outputfraktion	ASN	Metall/ Nichtmetall	Demontagebetrieb 1	Demontagebetrieb 2	Demontagebetrieb 3
Nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis	13 01 10*	N		5,12	
nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	13 02 05*	N	2,77		
Synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	13 02 06	N			4,12
Heizöl und Diesel	13 07 01*	N	0,33	0,99	
Benzin	13 07 02*	N	15,45	10,12	14,13

Outputfraktion	ASN	Metall/ Nichtmetall	Demontage-betrieb 1	Demontage-betrieb 2	Demontage-betrieb 3
Fluorchlorkohlenwasser-stoffe, HFCKW, HFKW	14 06 01*	N	0,10	0,05	0,18
Altreifen	16 01 03	N (83,5 %) / M (16,5 %)	21,48 4,24	26,27 5,19	25,93 5,12
Ölfilter	16 01 07*	N	0,47		
Bremsflüssigkeiten	16 01 13*	N	0,90	0,17	0,33
Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten	16 01 14*	N	3,70	4,68	1,58
Frostschutzmittel mit Ausnahme dejenigen, die unter 16 01 14 fallen	16 01 14*	N		0,02	3,03
Kunststoffe	16 01 19	N		0,12	
Glas	16 01 20	N		0,04	
metallische Bauteile/Ersatzteile (Gewichtsanteil)	16 01 22 01	M	9,51	13,97	
nicht metallische Bauteile/Ersatzteile (Gewichtsanteil)	16 01 22 02	N	1,09	0,78	
Bleibatterien	16 06 01*	N (40 %) / M (60 %)	3,64 5,46	3,98 5,96	3,39 5,08
gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	16 08 07*	N (25 %) / M (75 %)	0,87 2,62	0,84 2,51	1,12 3,35
Zusätzliche Demontage (Platinen, Stellmotore, Elektronik)		N (ca.40 %) / M (ca. 60 %)		0,00 0,01	0,03 0,05
Eisenmetalle (Stahlfelgen)	16 01 17	M	24,98		
Nichteisenmetalle (Alufelgen)	16 01 18	M	3,40		
Aluminium	17 04 02	M		6,46	
Eisen und Stahl	17 04 05	M		27,31	34,32
Gesamt			**101,01**	**114,59**	**101,76**
Gesamt Metall			**50,21**	**61,41**	**47,92**
Gesamt Nichtmetall			**50,80**	**53,18**	**53,84**

Legende: N: nichtmetallischer Anteil
M: metallischer Anteil

2.9.2.3 Art der Erfassung des Ersatzteilverkaufs im statistischen Erhebungsbogen

Für die Art der Erfassung des Ersatzteilverkaufs im statistischen Erhebungsbogen der Abfallstatistik konnten die in Tabelle 42 aufgelisteten Angaben erhoben werden.

Tabelle 42: Aufteilung Ersatz- und Bauteile, metallisch / nicht metallisch (Angaben in kg)

Bauteil	ASN	Demontagebetrieb 1	Demontagebetrieb 2	Demontagebetrieb 3
metallische Bauteile/ Ersatzteile	16 01 22 01	2.005,50	2.906,00	0,00
nicht metallische Bauteile/ Ersatzteile	16 01 22 02	230,00	162,00	0,00

Der Demontagebetrieb 1 verwendet die EDV zur Altfahrzeug-/Ersatzteilerfassung und Ersatzteilverkauf. Dem ist das Betriebstagebuch nachgeschaltet. Jedes Fahrzeug erhält demnach eine so genannte Annahmenummer, auf die dann die Ersatzteile angelegt werden. Jedes Ersatzteil besitzt ebenfalls eine Nummer, die die EDV auch als metallisch und nicht metallisch erkennt. Bei der Jahresauswertung erscheint so ein Gesamtgewicht für „verkaufte Ersatzteile", die dann in metallisch und nicht metallisch getrennt – als Ausgangsgewicht (nach der Demontage) – aufgezeigt werden. Die in dem Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderversuch beteiligten Demontageunternehmen 2 und 3 verfügen über keine professionelle EDV zu der Altfahrzeug-/Ersatzteilerfassung und dem Ersatzteilverkauf.

2.9.3 Schredder

2.9.3.1 Input-/Outputströme Schredderanlage

Die Schredderversuche fanden in zwei Anlagen statt. Tabelle 43 und Tabelle 44 sowie Tabelle 46 und Tabelle 47 zeigen die Ergebnisse an Hand der protokollierten Mengen der einzelnen Input- und Outputstöme beider Anlagen und eventuelle Unterschiede. Außerdem liefern die Tabellen Informationen zum Verbleibszweck der einzelnen Fraktionen. Aufgrund operativer Fehlerquellen (z. B. Messabweichungen der Waagen, siehe Kapitel 2.11.2) stimmten die Restkarossen-Outputmengen der Demontagebetriebe (Tabelle 40) und der Restkarossen-Input der Schredderanlagen (Tabelle 43 und Tabelle 46) nicht exakt überein. Die Verluste betrugen durchschnittlich 0,4 % pro Restkarosse.

Schredderanlage 1 (Zusammenfassung)

Eine der 211 in Demontagebetrieb 1 demontierten Restkarossen war aufgrund eines Versehens nicht bei der Schredderanlage 1 angekommen. Somit erfolgte der Schredderversuch 1 mit 210 Restkarossen. Die folgenden Tabellen stellen die Massenströme für Schredderanlage 1 dar.

Tabelle 43: Schredderanlage 1, Summen Input-/Outputströme beim Versuch mit 210 Restkarossen

Input Restkarossen Schredderanlage [kg]	Outputfraktionen Schredderanlage [kg]	Abweichung (nach Anlieferung) [kg]	Abweichung, Anteil am Input Schredderanlage [%]
186.280 kg gesamt entsprechend 887,05 kg/ Restkarosse	185.499	781	0,42

Tabelle 44: Schredderanlage 1, Differenzierte Outputströme beim Versuch mit 210 Restkarossen

Outputfraktion aggregiert	Lfd. Nr.	Outputfraktion differenziert	ASN	Verbleibszweck	Masse [kg]	Anteil am Output Schredderanlage [%]
	1	Stahlprodukte	191001	R	128.740	69,40
	2	Cu-Fe-Anker	191002	R	1.700	0,92

Outputfraktion aggregiert	Lfd. Nr.	Outputfraktion differenziert	ASN	Verbleibszweck	Masse [kg]	Anteil am Output Schredderanlage [%]
Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker + Sonstige Metallhaltige Fraktion nach Schredder		Sonstige Metallhaltige Fraktionen	191002	R	3.020	1,63
Schredderschwerfraktion	3	Stahlprodukte	191202	R	1.648	0,89
	4	NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	191202	R	11.619	6,26
	5	Mineralik < 2 mm	191209	R	770	0,42
	6	Staubfraktionen	190113	D	10	0,01
	7	Kunststoffe	191204	R	451	0,24
	8	Ersatzbrennstoffe	191210	E	7.052	3,80
Schredderleichtfraktion	9	Stahlprodukte	191202	R	378	0,20
	10	NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	191202	R	1.936	1,04
	11	Mineralik	191209	R	8.706	4,69
	12	Staubfraktionen	190113	D	41	0,02
	13	Kunststoffe	191204	R	441	0,24
	14	Ersatzbrennstoffe	191210	E	18.987	10,24
Gesamt					**185.499**	**100,00**

Legende: R: Recycling/stoffliche Verwertung
E: energetische Verwertung
D: Deponie

Die in Tabelle 44 dargestellten Outputfraktionen der Schredderanlage 1 verblieben mit knapp 86 % in der stofflichen Verwertung. 14 % wurden energetisch verwertet und kleiner Teil von 0,3 % bestehend aus verschiedenen Staubfraktionen wurde deponiert.

Tabelle 45: Schredderanlage 1, Summen Verbleib der Outputströme beim Versuch mit 210 Restkarossen

Entsorgungsweg	Anteil je Entsorgungswege
Recycling/Stoffliche Verwertung	85,93 %
Energetische Verwertung	14,04 %
Deponie	0,03 %
Summe Output Schredder	100,00 %

Schredderanlage 2 (Zusammenfassung)

Die folgenden Tabellen stellen die Massenströme für Schredderanlage 2 dar.

Tabelle 46: Schredderanlage 2, Input-/Outputströme beim Versuch mit 214 Restkarossen

Input Restkarossen Schredderanlage [kg]	Outputfraktionen Schredderanlage [kg]	Abweichung (nach Anlieferung) [kg]	Abweichung, Anteil am Input Schredderanlage [%]
198.440 kg gesamt, entsprechend 927,29 kg/ Restkarosse	197.797	643	0,32

Tabelle 47: Schredderanlage 2, Differenzierte Outputströme beim Versuch mit 210 Restkarossen

Outputfraktion aggregiert	Lfd. Nr.	Outputfraktion differenziert	ASN	Verbleibszweck	Masse [kg]	Anteil am Output Schredderanlage [%]
Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker nach Schredder	1	Stahlschrott / Sorte 4 / Sorte 84	191001	R	137.191	69,36
	2	Cu-Fe-Anker	170407	R	722	0,37
Schredderschwerfraktion	3	Eisenstaub	191212	D	118	0,06
	4	SSF Absieb	191212	R	2.540	1,28
	5	Mischmetalle M1	191203	R	787	0,40
	6	Mischmetalle M2	191203	R	1.640	0,83
	7	VA-Restfraktion fein	191212	R	2.140	1,08
	8	VA-Schrott	191203	R	141	0,07
	9	Messing	191203	R	40	0,02
	10	Kupfer	191203	R	10	0,01
	11	Mischmetalle M3/M4	191203	R	2.100	1,06
	12	VA-Restfraktion grob	191212	R	7.080	3,58
	13	Leiterplatten	191212	R	7	0,00
	14	Aluminium grob	191203	R	4.860	2,46
	15	SSF Überkorn		R	360	0,18
	16	Mischmetalle aus Handklaubung SSF	191203	R	110	0,06
Schredderleichtfraktion	17	Filterstaub	191212	D	11	0,01
	18	SLF fein	191212	R (50,9 %) D (49,1 %)	13.180	6,66
	19	SLF grob	191212	E (100 %)	23.880	12,07
	20	Mischmetalle aus SLF	191203	R	320	0,16

Outputfraktion aggregiert	Lfd. Nr.	Outputfraktion differenziert	ASN	Verbleibszweck	Masse [kg]	Anteil am Output Schredderanlage [%]
	21	Sorte 4 aus Überbandmagnet	191001	R	560	0,28
Gesamt					**197.797**	**100,00**

Legende:
R: Recycling/stoffliche Verwertung
E: energetische Verwertung
D: Deponie

Die in Tabelle 47 dargestellten Outputfraktionen der Schredderanlage 2 verblieben mit knapp 86 % in der stofflichen Verwertung. 11 % wurden energetisch verwertet und ca. 3 % wurden deponiert (siehe auch folgende Tabelle).

Tabelle 48: Schredderanlage 2, Summen Verbleib der Outputströme beim Versuch mit 214 Restkarossen

Entsorgungsweg	Anteil je Entsorgungsweg
Recycling/stoffliche Verwertung	85,72 %
Energetische Verwertung	11,16 %
Deponie	3,12 %
Summe Output Schredder	100,00 %

2.9.3.2 Metallgehalt der Restkarossen

Im Folgenden werden die Angaben der Schredderanlagenbetreiber insbesondere auf den Metallgehalt der Restkarossen, in Verbindung mit der verwendeten ASN tabellarisch dargestellt. Wegen der verschiedenen verwendeten Technologien sind die Outputfraktionen im Einzelnen zwischen Tabelle 49 und Tabelle 50 nicht direkt vergleichbar. Die Metallgehalte der metallischen Fraktionen ergaben sich bei der Schredderanlage 1 bedingt durch die deutlich umfangreichere Aufbereitungstechnik zu 100 %. Wohingegen bei der Schredderanlage 2 eine visuelle Schätzung des Metallgehaltes notwendig war und als gewichteter Anteil der metallhaltigen Fraktion der Outputfraktionen der Schredderanlage 2 eingerechnet wurde.

Tabelle 49: Schredderanlage 1, Output, Metallgehalt

Fraktion	Metallhaltige Fraktion	ASN	Masse [kg]	Anteil am Gesamt–Output der Schredderanlage [%]
Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker nach Schredder	Stahlprodukt (aus Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker + Sonstige Metallfraktion nach Schredder)	191001	128.740	69,40
	Sonstige metallhaltige Fraktionen (aus Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker + Sonstige Metallfraktion nach Schredder)	191002	4.720	2,55
Schredderschwerfraktion	Stahlprodukte	191202	1.648	0,89
	NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	191202	11.619	6,26
	Stahlprodukte	191202	378	0,20

Fraktion	Metallhaltige Fraktion	ASN	Masse [kg]	Anteil am Gesamt–Output der Schred-deranlage [%]
Schredderleicht-fraktion	NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	191202	1.936	1,04
Gesamt			**149.041**	**80,34**

Tabelle 50: Schredderanlage 2, Output, Metallgehalt

Fraktion	Metallhaltige Fraktion	ASN	Masse [kg]	Anteil an der Out-pufraktion Schredder-anlage [%]	Ge-schätz-ter Me-tallan-teil[1)] [%]	Metallischer Anteil der Outputfrak-tion Schred-deranlage [kg]
Fe-Fraktion + Cu-Fe-An-ker nach Schredder	Stahlprodukt (aus Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker nach Schredder)	191001	137.191	69,36	98	134.447
	Sonstige metallhaltige Fraktionen (aus Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker nach Schredder)	191002	722	0,37	80	578
Schredder-schwerfrak-tion	Eisenstaub	191212	118	0,06	n. a.	n. a.[2)]
	SSF Absieb	191212	2.540	1,28	20	508
	Mischmetalle M1	191203	787	0,40	100	787
	Mischmetalle M2	191203	1.640	0,83	100	1.640
	VA-Restfraktion fein	191212	2.140	1,08	20	428
	VA-Schrott	191203	141	0,07	100	141
	Messing	191203	40	0,02	100	40
	Kupfer	191203	10	0,01	98	10
	Mischmetalle M3/M4	191203	2.100	1,06	80	1.680
	VA-Restfraktion grob	191212	7.080	3,58	15	1.062
	Aluminium grob	191203	4.860	2,46	90	4.374
	Mischmetalle aus Handklaubung SSF	191203	110	0,06	15	17
Schredder-leichtfrak-tion	SLF grob	191212	23.880	12,07	5	1.194
	Mischmetalle aus SLF	191203	320	0,16	80	256
	Sorte 4 aus Überband-magnet	191001	560	0,28	90	504

Fraktion	Metallhaltige Fraktion	ASN	Masse [kg]	Anteil an der Outpufraktion Schredderanlage [%]	Geschätzter Metallanteil[1)] [%]	Metallischer Anteil der Outputfraktion Schredderanlage [kg]
Gesamt			**160.359**	**93,15**		**147.666** [2]
Anteil am Gesamt-Schredderoutput [%]						**74,66 %**

[1)] Der Metallgehalt wurde geschätzt.
[2)] Die Fraktion „Eisenstaub“ ist hier nicht enthalten. Da diese Fraktion deponiert wird, ist die Masse für die spätere Berechnung des verwertbaren Metallanteils nicht relevant.

Der Metallgehalt bezogen auf die Outputströme der Schredderanlagen beträgt 80,34 % für Schredderanlage 1 und 74,66 % für Schredderanlage 2.

2.9.3.3 Anteil der Schredderleichtfraktion bzw. nichtmetallischen Outputs der Schredderanlagen

Aus Tabelle 43 und Tabelle 46 lassen sich Anteile der Schredderleicht- und Schredderschwerfraktion am Input Schredderanlage berechnen, welche jeweils in Tabelle 51 und Tabelle 52 dargestellt sind.

Tabelle 51: Schredderanlage 1, Anteil der drei Output-Hauptfraktionen am Input Restkarossen Schredderanlage

Fraktion	Anteil am Schredderinput [%]
Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker + Sonstige Metallfraktion nach Schredder	71,65
Schredderschwerfraktion	11,56
Schredderleichtfraktion	16,37
Verluste	0,42

Tabelle 52: Schredderanlage 2, Anteil der drei Output-Hauptfraktionen am Input Restkarossen Schredderanlage

Fraktion	Anteil am Schredderinput [%]
Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker nach Schredder	69,50
Schredderschwerfraktion	11,05
Schredderleichtfraktion	19,13
Verluste	0,32

Der Anteil der Schredderleichtfraktion liegt in beiden Fällen unterhalb der bisherigen Annahme von 25 %.

Relevant für die Berechnung der Altfahrzeug-Verwertungsquoten sind alle nichtmetallischen Schredder-Outputfraktionen, neben der Schredderleichtfraktion also auch die nichtmetallischen Anteile der Schredderschwerfraktion gemäß Tabelle 49 und Tabelle 50. Eine weitergehende Betrachtung der in der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne festgestellten Werte erfolgt in Kapitel 4.3.5.4.

2.9.3.4 Abfallschlüssel der Fraktionen der Schredderleichtfraktionen

Die verwendeten ASN der Outputfraktionen aus der Schredderleichtfraktion sind in Tabelle 53 sowie Tabelle 54 jeweils für beide Schredderanlagen dargestellt. Die Unterschiede ergeben sich aus den verwendeten Post-Schreddertechnologien.

Schredderanlage 1

Tabelle 53: Schredderanlage 1, Verwendete Abfallschlüsselnummern für Schredderleichtfraktion

Fraktion	ASN
Stahlprodukte	19 12 02
NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	19 12 02
Mineralik	19 12 09
Staubfraktionen	19 01 13
Kunststoffe	19 12 04
Ersatzbrennstoffe	19 12 10

Schredderanlage 2

Tabelle 54: Schredderanlage 2, Verwendete Abfallschlüsselnummern für Schredderleichtfraktion

Fraktion	ASN
Filterstaub	19 12 12
SLF fein	19 12 12
SLF grob	19 12 12
Mischmetalle aus SLF	19 12 03
Sorte 4 aus Überbandmagnet	19 10 01

2.9.4 Input-/Outputbilanz

Zur zusammenfassenden Darstellung der Input-/ Outputbilanz der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne sind in Abbildung 24 und

Abbildung 25 Mengenströme und Entsorgungswege dargestellt.

Abbildung 24: Massebilanz unter Berücksichtigung der Demontageleistung; Metall – Nichtmetall

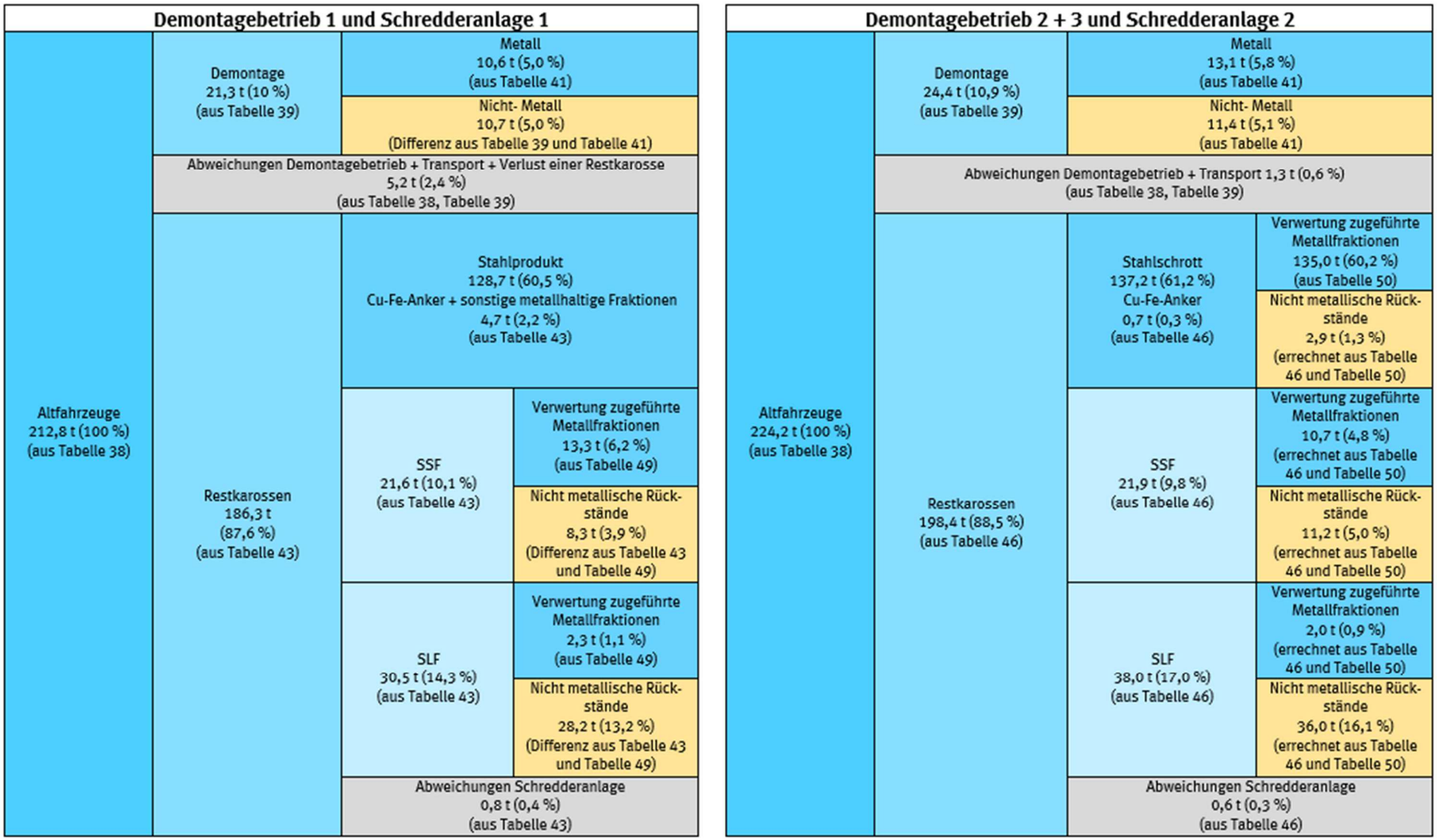
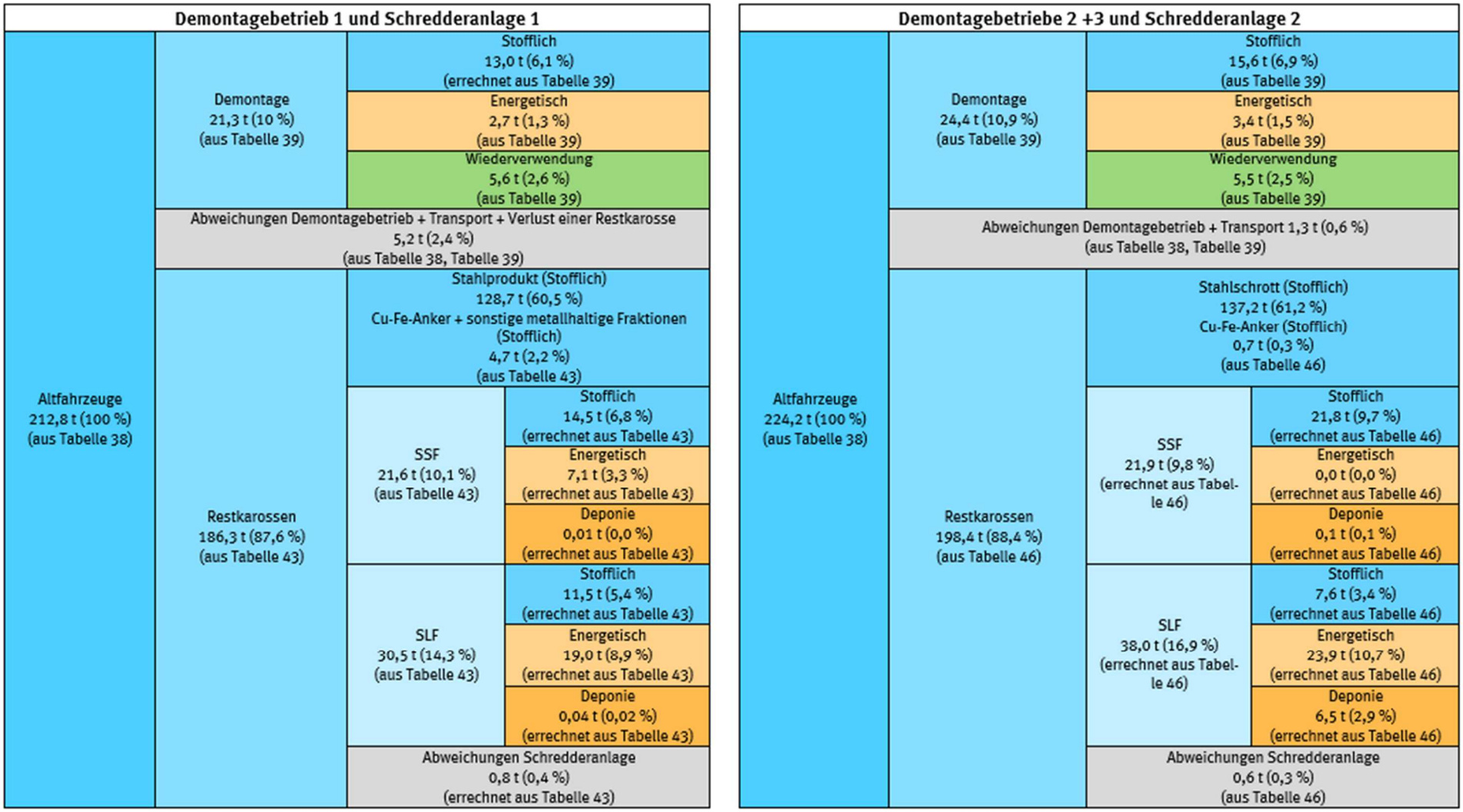


Abbildung 25: Massebilanz unter Berücksichtigung der Demontageleistung, Verbleibszweck



.

Bezogen auf die Unterteilung zwischen Metallfraktionen, die einer Verwertung zugeführt wurden, und den Nichtmetallen aus den Demontageanlagen sowie der nichtmetallischen Rückstände ergaben sich die Kernaussagen, die in Tabelle 55 und Tabelle 56 dargestellt sind.

Tabelle 55: Gesamtbilanz Aufteilung Metall/Nichtmetall

Beteiligte	Metallfraktion, die einer Verwertung zugeführt wurden, Anteil an Masse Altfahrzeugen Input Demontagebetrieb Waage [%]	Nichtmetalle aus den Demontagebetrieben sowie nichtmetallische Rückstände, Anteil an Masse Altfahrzeugen Input Demontagebetrieb Waage [%]	Differenz, Verluste [%]
Demontagebetrieb 1, Schredderanlage 1	75,0	22,1	2,9
Demontagebetrieb 2 und 3, Schredderanlage 2	71,7	27,5	0,8

Tabelle 56: Gesamtbilanz Aufteilung Wiederverwendung, Stoffliche Verwertung, Energetische Verwertung, Deponie

Beteiligte	Wiederverwendung, Anteil an Masse Altfahrzeugen Input Demontagebetrieb Waage [%]	Stoffliche Verwertung / Recycling, Anteil an Masse Altfahrzeugen Input Demontagebetrieb Waage [%]	Energetische Verwertung, Anteil an Masse Altfahrzeugen Input Demontagebetrieb Waage [%]	Deponie, Anteil an Masse Altfahrzeugen Input Demontagebetrieb Waage [%]	Differenz, Verluste [%]
Demontagebetrieb 1, Schredderanlage 1	2,6	81,0	13,5	0,02	2,9
Demontagebetrieb 2 und 3, Schredderanlage 2	2,5	82,5	11,3	3,0	0,7

Anmerkung: Aufgrund von Rundungsdifferenzen stimmen die Angaben zu Differenzen/Verlusten von Tabelle 55 und Tabelle 56 nicht genau überein.

Zu dem niedrigeren Wert für die stoffliche Verwertung bei Demontagebetrieb 1 / Schredderbetrieb 1 im Vergleich zu Demontagebetrieb 2 und 3 / Schredderanlage 2 trägt teilweise der Verlust einer Restkarosse (1/211 = 0,5 %) bei. Die Interpretation der in der Kampagne festgestellten Werte im Kontext der AltfahrzeugV erfolgt in Kapitel 4.

2.10 Hochrechnung der Ergebnisse aus den Verwertungs- und Schredder-Versuchen

2.10.1 Methodik

In der Hochrechnung wird das Ergebnis der Stichprobe (verkleinertes Abbild der Grundgesamtheit) auf die Untersuchungsgesamtheit (hier die In- und Outputströme aus Verwertungs- und Schredderanlagen in Deutschland) zurückprojiziert. Es sind dieselben Randbedingungen wie in der Stichprobenauswahl (Kapitel 2.7.6) beschrieben zu berücksichtigen. Die Gleichung 1 (für die Stoffstrombilanz), 2

(für den Outputstrom Metalle) und 4 (Inputstrom ELV) in Kapitel 2.7.6 können daher für die Hochrechnung herangezogen werden. Die Hochrechnung weiterer Outputströme (z. B. SLF oder ausgebaute Ersatzteile) erfolgt analog.

Zur Bestimmung der Hochrechnungsfaktoren auf Anlagenebene müssen die im Versuch berücksichtigten Demontagebetriebe (Demontageumfang hoch/mittel) sowie die Schredderbetriebe (nach Aufbereitungstiefe hoch/mittel) entsprechend ihrer verarbeiteten Altfahrzeuganteile berücksichtigt werden. Auf Ebene der Altfahrzeuge sind die im Versuch festgelegten Schichten zu berücksichtigen. Zur Hochrechnung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Schichtzuordnung nach Altfahrzeuggewichten (S1: < 1.000 kg, S2: 1.000 kg – 1.250 kg, S3: > 1.250 kg und S4: zustandsverändert) wird den Anlieferungsstatistiken der beiden Schredderanlagen für das Kalenderjahr 2015 entnommen. Es ergibt sich die in Tabelle 57 dargestellte Aufteilung.

Tabelle 57: Schichteinteilung nach Altfahrzeuggewichten und Schredderanlagen

Schicht	Schredderanlage 2	Schredderanlage 1
S1: < 1.000 kg	53 %	42 %
S2: 1.000 kg – 1.250 kg	25 %	32 %
S3: > 1.250 kg	14 %	18 %
S4: zustandsverändert	7 %	7 %

- Der Anteil an Demontageanlagen nach Demontagetiefe (hoch - mittel)
  Anteil Demontageumfang hoch: 84 %
  Anteil Demontageumfang mittel:16 %
- Anteil der Schredderanlagen nach technischem Niveau (hohes Niveau – mittleres Niveau)
  Anteil Aufbereitungstiefe hoch: 60 %
  Anteil Aufbereitungstiefe mittel: 40 %

Fasst man nun die Anteile nach Schichten, Demontageumfang und Aufbereitungstiefe in einer Schichtungsmatrix für die Hochrechnung zusammen, so ergibt sich die in Tabelle 58 dargestellte Aufteilung der Altfahrzeuge in der Grundgesamtheit. Die Anzahlen der Altfahrzeuge in der Grundgesamtheit beziehen sich auf die ca. 500.000 jährlich anfallenden Altfahrzeuge.

Tabelle 58: Schichteinteilung nach Altfahrzeuggewichten und Schredderanlagen

Schicht	Demontage hoch, Schredder hoch	Demontage hoch, Schredder mittel	Demontage mittel, Schredder hoch	Demontage mittel, Schredder mittel	Gesamt
Schicht 1	106.008	70.672	25.471	16.980	219.132
Schicht 2	81.240	54.160	12.202	8.135	155.737
Schicht 3	46.608	31.072	6.871	4.581	89.131
Schicht 4	18.144	12.096	3.456	2.304	36.000
Gesamt	**252.000**	**168.000**	**48.000**	**32.000**	**500.000**

Mithilfe der in Kapitel 2.7.6 beschriebenen Gleichungen und der Anzahlen der Altfahrzeuge in der Grundgesamtheit (Schichtungsmatrix, Tabelle 58) können die gesuchten Schlüsselgrößen für die Grundgesamtheit (Schredder-Input, Schredderleichtfraktion und Metallgehalt) hochgerechnet werden.

2.10.2 Sensitivitätsanalyse

Die Literaturrecherche und die Expertenbefragung konnten keine zuverlässigen Angaben zur Schichtzuordnung der Massenverteilung der Altfahrzeuge in der Grundgesamtheit sowie der Verteilung der Demontage-/Schredderanlagen nach Demontagetiefe und Aufbereitungsqualität in der Grundgesamtheit erbringen. Daher wurden die bestehenden Unsicherheiten zu den Verteilungsannahmen in der Grundgesamtheit durch eine Sensitivitätsanalyse abgeschätzt. Dazu wurden realistische Abweichungen von den getroffenen Annahmen auf ihre Auswirkungen auf das Hochrechnungsergebnis getestet. Es wurden folgende Abweichungen simuliert:

Tabelle 59: Elemente der Abweichungssimulation

Parameter	Annahme	Variante min	Variante max
Zustandsverändert (Abweichung der tatsächlichen AFZ-Masse vom Briefgewicht > 30 %)	0,07	0,05	0,2
Der Anteil an Demontageanlagen nach Demontagetiefe (hoch / mittel)	0,84 : 0,16	0,70 : 0,30	0,90 : 0,10
Anteil der Schredderanlagen nach technischem Niveau (hohes Niveau / mittleres Niveau)	0,6 : 0,4	0,4 : 0,6	0,8 : 0,2

Die berechneten Abweichungen für die hochgerechneten Metall- und Nichtmetallmengen betrugen für die minimale und maximale Variante weniger als 5 %. Der durch die getroffenen Annahmen möglicherweise verursachte Fehler liegt somit innerhalb der durch das Hochrechnungsverfahren bedingten Zufallsfehler.

2.10.3 Ergebnisse

Mithilfe der in Kapitel 2.7.6 beschriebenen Gleichungen und der Anzahlen der Altfahrzeuge in der Grundgesamtheit (Schichtungsmatrix, Tabelle 58) werden in Tabelle 60 bis Tabelle 62 die gesuchten Zielparameter hochgerechnet.

Tabelle 60: Hochrechnung Demontage (Angaben in t)

Station im Materialfluss	Demontage hoch	Demontage mittel	Gesamt
Eingang Demontagebetrieb Gesamt	420.602	79.847	500.449
Ausgang Schadstoffe	5.250	1.037	6.287
Ausgang Ersatzteile	4.938	1.028	5.967
Ausgang Metallische Wertstoffe	11.842	2.596	14.438
Ausgang Nichtmetallische Wertstoffe	10.729	2.453	13.181
Ausgang Flüssigkeiten	6.614	1.619	8.232
Ausgang Summe Demontage	39.373	8.733	48.106
Ausgang Restkarossen[9]	377.218	70.966	448.183
Ausgang Demontagebetrieb Summe	416.590	79.699	496.289

[9] Verluste (Differenz zwischen Summe Demontage und Ausgang Demontage zum Eingangsgewicht) sind nicht gesondert aufgeführt.

Tabelle 61: Hochrechnung Schredder (Angaben in t)

Bereiche	Schredder hoch	Schredder mittel	Gesamt
Verluste Transport Demontage - Schredder	6.835	771	7.606
Anlieferung Restkarossen	262.075	178.503	440.577
Schredderschrott	187.658	124.070	311.729
Schredderschwerfraktion gesamt	30.385	19.704	50.089
Davon Schredderschwerfraktion Metall	18.710	9.627	28.336
Davon Schredderschwerfraktion Nicht-Metall	11.676	10.077	21.753
Schredderleichtfraktion gesamt	42.905	34.189	77.094
Davon Schredderleichtfraktion Metall	3.235	1.799	5.035
Davon Schredderleichtfraktion Nicht-Metall	39.670	32.390	72.060
Verluste Schredder	1.125	540	1.665

Tabelle 62: Hochrechnung Demontage Metall/Nicht-Metall (Angaben in t)

Bereiche	Demontage hoch	Demontage mittel	Gesamt
Eingang Demontage	420.602	79.847	500.449
Demontageleistung gesamt	39,373	8,733	48,106
Demontage Metalle	14.788	3.615	18.403
Demontage Nicht-Metall	24.585	5.118	29.703
Verluste Demontage	4.012	148	4.160
Output Demontage (Altfahrzeug)	377.218	70.966	448.183

Tabelle 63: Hochrechnung Demontage und Schredder (Angaben in t)

Gewichte	Demontage hoch, Schredder hoch	Demontage hoch, Schredder mittel	Demontage mittel, Schredder hoch	Demontage mittel, Schredder mittel	Gesamt
Output Demontage (Restkarosse)	226,331	150,887	42,579	28,386	448,183
Verluste Transport	5,753	649	1,082	122	7,606
Input Schredder	220,578	150,238	41,497	28,264	440,577
Output Schredderschrott gesamt	157,944	104,425	29,714	19,645	311,729
Output Schredderschrott Metalle	157,944	102,229	29,714	19,232	309,119
Output Schredderschrott Nicht-Metall	-	2,196	-	413	2,609
Output Schredder-Schwer-Fraktion gesamt	25,574	16,584	4,811	3,120	50,089
Output Schredder-Schwer-Fraktion Metalle	15,747	8,103	2,962	1,524	28,336

Gewichte	De-montage hoch, Schred-der hoch	De-montage hoch, Schred-der mittel	De-montage mittel, Schred-der hoch	Demon-tage mittel, Schred-der mit-tel	Gesamt
Output Schredder-Schwer-Fraktion Nicht-Metall	9,827	8,481	1,849	1,596	21,753
Output Schredder-Leicht-Fraktion gesamt	36,112	28,776	6,794	5,414	77,094
Output Schredder-Leicht-Fraktion Metalle	2,723	1,515	512	285	5,035
Output Schredder-Leicht-Fraktion Nicht-Metall	33,389	27,261	6,281	5,129	72,060
Verluste Schredder	947	454	178	85	1,665

Berechnungsbeispiel für den Metallgehalt aus Demontage und Schredder:

$$\hat{X}_{(Fe)} = \sum_{h=1}^{L}\left(\frac{M_{h,D}}{m_{h,D}}\cdot\sum_{j_D=1}^{m_D}\frac{N_{h,j_D}}{n_{h,j_D}}\cdot\left(\sum_{i_D=1}^{n_{h,j_D}} x_{(WSt(Me))_{hji}}\right)+\frac{M_{h,S}}{m_{h,S}}\cdot\sum_{j_S=1}^{m_S}\frac{N_{h,j_S}}{n_{h,j_S}}\cdot\left(\sum_{i_S=1}^{n_{h,j_S}} x_{(SLF(Me))_{hji}}+\sum_{i_S=1}^{n_{h,j_S}} x_{(SSF(Me))_{hji}}+\sum_{i_S=1}^{n_{h,j_S}} x_{(FeSS)_{hji}}\right)\right)$$

(siehe Gleichung 3 in Kapitel 2.7.6)

Bei proportionaler Stichprobenauswahl nach Altfahrzeuggewichtsklassen/ zustandsveränderten Altfahrzeugen ist die Stichprobe selbstgewichtend. Eine Schichtung nach diesen Kriterien entfällt bei der Hochrechnung. Weiterhin wird anstelle der nicht messbaren Metalloutputströme je Restkarosse die Metallmasse je Outputstrom eingesetzt. Die Berechnung vereinfacht sich entsprechend.

$$\hat{X}_{(Fe)} = \frac{M_D}{m_D}\cdot\sum_{j_D=1}^{m_D}\frac{N_{j_D}}{n_{j_D}}\cdot\left(\sum_{i_D=1}^{n_{j_D}} x_{(WSt(Me))_{ji}}\right)+\frac{M_S}{m_S}\cdot\sum_{j_S=1}^{m_S}\cdot\left(x_{(SLF(Me))_j}+x_{(SSF(Me))_j}+x_{(FeSS)_j}\right)$$

$\hat{X}_{Fe}$	Schätzwert für die hochgerechnete Metallmasse
h	Laufindex für Schichten
L	Anzahl der Schichten
m_D	Anzahl der Demontageanlagen in der SP
M_D	Anzahl der Demontageanlagen in der GG
m_S	Anzahl der Schredder in der SP
M_S	Anzahl der Schredder in der GG
j_S/j_D	Laufindex für Anlagen Demontage/Schredder
i_S/i_D	Laufindex für Altfahrzeuge/ Restkarossen
n_{h,j_D}	Anzahl der Altfahrzeuge je Schicht und Demontageanlage in der SP
N_{h,j_D}	Anzahl der Altfahrzeuge je Schicht und Demontageanlage in der GG
n_{h,j_S}	Anzahl der Altfahrzeuge je Schicht und Schredderanlage in der SP
N_{h,j_S}	Anzahl der Altfahrzeuge je Schicht und Schredderanlage in der GG
ET	Ersatzteile
WSt(Me)	Metall in den Wertstoffen
SLF(Me)	Metalle in der Schredderleichtfraktion
SSF(Me)	Metalle in der Schredderschwerfraktion
FeSS	Eisen (hier Schredderschrott)

Das Verhältnis der Demontage- und Schredderanlagen in der Grundgesamtheit zum Verhältnis der Anlagen in der Stichprobe wird über den Altfahrzeuganteil (GG zu SP) geschätzt. Die Anzahl der Demontage- und Schredderanlagen werden der Hochrechnungsmatrix (Tabelle 58) entnommen. Die Anzahl der Altfahrzeuge in der Stichprobe sind dem Versuch zu entnehmen.

2.11 Qualität der Untersuchungsergebnisse der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagnen

2.11.1 Zielstellung und Methoden

Nach Durchführung der Demontage- und Schredderversuche wurden die Ergebnisse einer Qualitätsuntersuchung zur Repräsentativität, Genauigkeit und Sicherheit sowie zur Belastbarkeit unterzogen. Es wurden die durchschnittlichen Altfahrzeugmassen (Anlagen-Input), die Anteile an interessierenden Komponenten/ Wertstoffen/ Schadstoffen (Anlagen-Output) sowie die aus Input- und Outputströmen berechneten Verwertungs- und Recyclinganteile betrachtet. Die Versuche wurden auf Stichprobenbasis durchgeführt. Die Ergebnisse der Grundgesamtheit sind daher mit einem nicht vermeidbaren Stichprobenfehler behaftet. Als Maß für die Angabe der Qualität der Untersuchungsergebnisse wurden die Varianz und die wahrscheinlichen Unter- bzw. Obergrenzen (Konfidenzintervalle) angegeben.

Die in der statistischen Versuchsplanung getroffenen Annahmen zu Varianzen zwischen und innerhalb der Anlagen/ Altfahrzeuge wurden anhand der in den Versuchen erhobenen Daten ergänzt und überprüft. Weiterhin werden die Ergebnisse der Demontage- und Schredderversuche mit Ergebnissen anderer Schredderversuche (Literaturrecherche) verglichen und bewertet.

Unterschiede in den Stoffbilanzen der Demontage- und Schredderanlagen konnten nur unter Einbeziehung der statistischen Schwankungsbreiten (qualitätsgesicherte Ergebnisse) getroffen werden. Auf dieser Basis konnten die einbezogenen Anlagentypen verglichen und Fragestellungen zur zukünftigen statistischen Planung von Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagnen beantwortet werden.

Die statistischen und mathematischen Grundlagen zur Berechnung der Genauigkeit und Sicherheit der Versuchsergebnisse wurden in Kapitel 2.7ausführlich beschrieben und werden hier nicht weiter aufgeführt. Eine ausführliche Erläuterung und Beschreibung zur Stichprobenplanung befindet sich ebenfalls in Kapitel 2.7.

2.11.2 Operative Fehlerquellen

Die operativen Fehlerquellen bewerteten den Versuch hinsichtlich der Datenqualität und gaben Einblick auf die Schwachstellen bei der Durchführung.

Bei der Demontage der Altfahrzeuge konnte es während des Versuches zu folgenden Verfälschungen des Versuchsergebnisses gekommen sein:

- Mess- und Ablesefehler der Waage,
- Übertragungs- und Verwechslungsfehler bei der Dokumentation,
- Falsche Zuordnung der demontierten Fraktionen zu den einzelnen Rubriken wie z. B. „Wertstoffe“.

Während des Transportes war es möglich, dass

- Verluste oder Zuwachs bei der Anzahl der Restkarossen auftraten,
- Bauteile oder Bestandteile von Bauteilen verloren gingen,
- zusätzliches Material beim Einlagern der Restkarossen hinzugekommen war.

Operative Fehlerquellen während des Schredderversuches könnten durch,

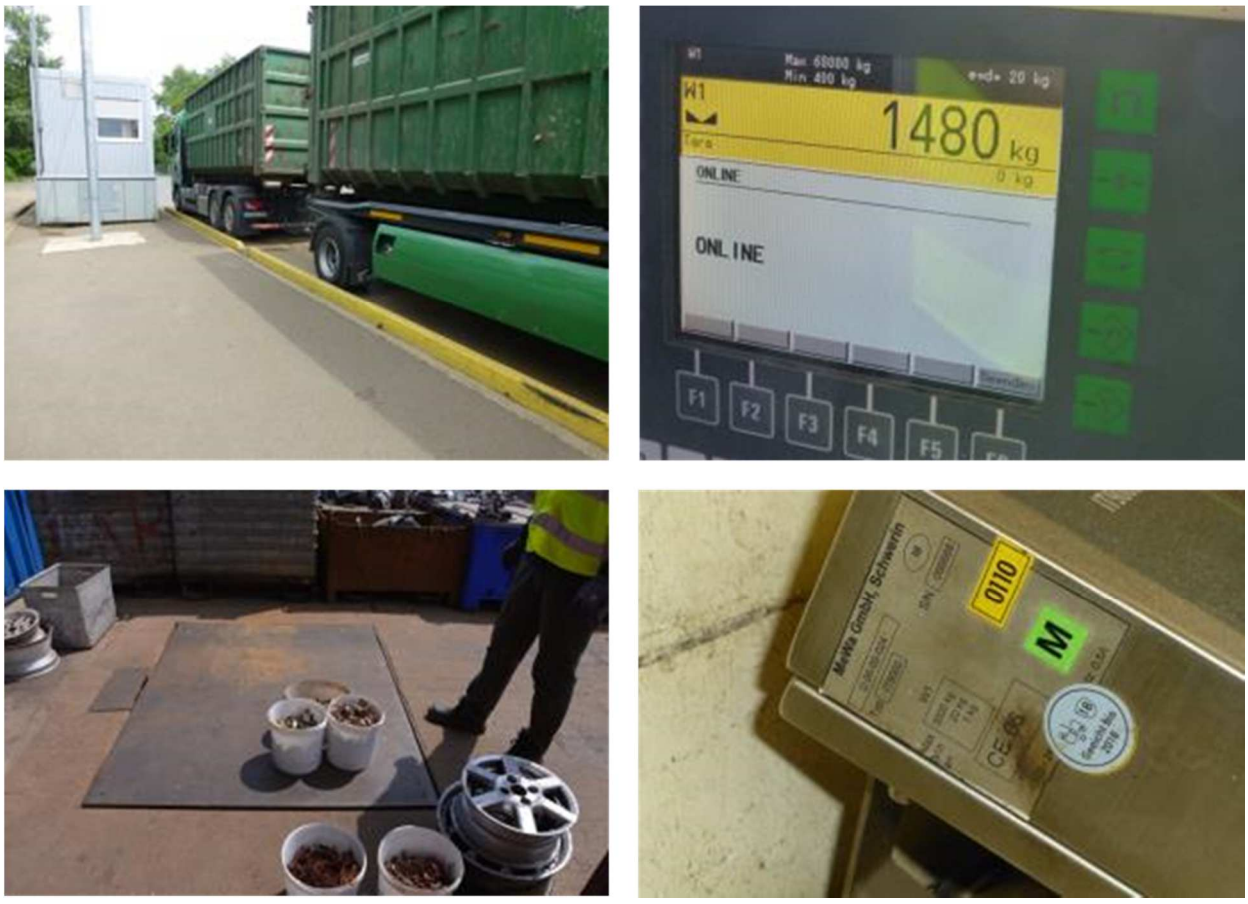
- Mess- und Ablesefehler der Waage,
- Übertragungs- und Verwechslungsfehler bei der Dokumentation,
- Abweichungen und Vermischung durch die Umladung der Restkarossen bei der Schredderaufgabe und
- partiellen Materialverbleib im Schredder entstanden sein.

Insgesamt wurden drei LKW-Waagen mit einer Messabweichung von +/- 20 kg eingesetzt. Hierauf wurden bei dem Demontagebetrieb 1, der Schredderanlage 1 und und der Schredderanlage 2 die Altfahrzeuge bzw. Restkarossen verwogen. Bei den Demontagebetrieben 2 und 3 kam für die Verwiegung der Altfahrzeuge und Restkarossen eine Waage mit einer Messabweichung von +/- 1 kg zum Einsatz. Alle übrigen eingesetzten Waagen hatten eine Messabweichung von +/- 1 kg.

Bei der Demontage von über 400 Altfahrzeugen war von geringfügigen Übertragungs- und Verwechslungsfehlern bei der Dokumentation auszugehen. Außerdem war eine Restkarosse nicht bei der Schredderanlage 1 angekommen. Diese wurde identifiziert und bei der Auswertung als Verluste zwischen Demontage und Schredder von rund 0,5 % berücksichtigt. Die Abweichungen wurden in der Gesamtbetrachtung eingepflegt.

Die Messabweichungen der LKW-Waagen verursachten einen größeren Messfehler bei der Verwiegung eines einzelnen Altfahrzeugs mit ca. 1t und einen kleineren Messfehler bei der Gruppenverwiegung von 15 Restkarossen in Containern. Hinzu kam, dass die Restkarossen bei dem Demontagebetrieb 1 mit einer LKW-Waage und bei den Demontagebetrieben 2 und 3e mit einer genaueren Waage gewogen wurden. Hierdurch ließen sich die erheblichen Abweichungen bei Demontage und Transport zwischen dem Schredderversuch 1 und Schredderversuch 2 erklären.

Abbildung 26: Verwiegung während der Schredderkampagne



Bildquelle: mitSystem GmbH

2.11.3 Probennahme und Analytik

Die Gesamtergebnisse befinden sich in Kapitel 3.

Bei Fehlerbetrachtungen von Probennahme und Analytik sind im Wesentlichen die Verfahrensschritte

- Probennahme inkl. der Probenteilung vor Ort,
- Probenvorbereitung im Labor,
- Analytik sowie
- Auswertung und Berichtserstellung

zu berücksichtigen.

Durch spezielle Gestaltungen von Probennahme-/Probenvorbereitungs- und Analysenkonzepten war eine quantitative Abschätzung der Streuungsanteile einzelner Verfahrensschritte möglich. Für die Parameter der SLF und der SSF erfolgten quantitative Abschätzungen der Streuung von Probennahme und Analytik (inkl. Probenvorbereitung) inklusive der Beurteilung, ob die Probennahme repräsentativ war oder nicht. Die Auswertungen der Repräsentativitätstests sind im Kapitel 3 aufgeführt. Diese Betrachtung wurde parameterweise durchgeführt, so dass nur durch die gemeinsame Betrachtung aller Ergebnisse für SSF und SLF eine Abschätzung erfolgen konnte.

SLF Schredderanlage 1

Es gab Parameter, bei denen Probennahme und Analytik als repräsentativ eingeschätzt werden konnten (Gesamtfehler P=95 % kleiner 30 %), aber auch einige wenige Parameter bei denen die Probennahme zu hohe Abweichungen im Vergleich zur Laborstreuung aufwiesen. Man erkennt bei Pb, Cr und Sb hohe Gesamtstreuungen, weil in einer der drei Mischproben deutlich geringere oder deutlich höhere Gehalte gefunden wurden. Bei den Parametern Ag, Ni und Cu lagen innerhalb der Doppelbestimmungen größere Unterschiede vor, was auch durch die Probenzerkleinerung und Homogenisierung nicht verhindert werden konnte. Diese Elemente lagen kompakt und dadurch sehr inhomogen vor – von Cu ist diese Eigenschaft aus Sekundärbrennstoff-Untersuchungen bekannt. Die organischen Parameter lagen im Bereich von 3-30 %, mit Ausnahme von Decabromdiphenylether, Summe PCB und BTEX. Für den Parameter BTEX dürfen Proben nicht gemischt werden, es wurden die Einzelproben untersucht.

Das für die Repräsentativität der Probennahme zulässige Verhältnis von Probennahmestreuung zu Analysenstreuung wurde bei den Parametern BTEX und Summe PAK (unwesentlich) überschritten.

SLF Schredderanlage 2

Bei den organischen Parametern verzeichnen einige PBDE und BTEX eine erweiterte Messunsicherheit > 30 %. Bei den anorganischen Parametern Cd. Hier waren die Gehalte der Mischprobe 2 im Vergleich zu den anderen beiden deutlich höher. Alle anderen Parameter lagen unter 30 %.

Das für die Repräsentativität der Probennahme zulässige Verhältnis von Probennahmestreuung zu Analysenstreuung wurde bei den Parametern Pb, Cd und Cr überschritten. Hier hätten weitere Proben entnommen und untersucht werden müssen.

SLF insgesamt

Bis auf einige Untersuchungsparameter zeigt sich, dass die Probennahme und Analytik insgesamt mit vertretbaren Messunsicherheiten durchgeführt werden konnte, so dass belastbare Resultate erzielt wurden. Ermöglicht wurde dies in der vorliegenden Matrix nur durch den höheren Probennahme- und

Analytikaufwand inkl. der sehr aufwendigen Probenvorbereitung im Labor. Vorteilhaft war dabei die Mehrfachuntersuchung der drei Mischproben.

SSF Schredderanlage 1

Das repräsentative Analysenergebnis mit einer erweiterten Gesamtmessunsicherheit < 30 % konnte bei BTEX nicht erreicht werden. Für den Parameter BTEX durfte wegen der möglichen Konzentrationsverluste keine Mischprobe erstellt werden. Daher zeigen die Einzelproben erwartungsgemäß eine größere Streuung. Die Parameter Cd und Cu zeigten einzelne, sehr hohe Werte. Das deutete auf Inhomogenitäten hin, die durch Zerkleinern und Homogenisieren nicht verringert werden konnten. Bei Cr und Ni lieferte die Mischprobe 3 im Vergleich zu den anderen beiden Mischproben deutlich geringere Werte, was zu einer hohen Streuung führt.

Das für die Repräsentativität der Probennahme zulässige Verhältnis von Probennahmestreuung zu Analysenstreuung wurde bei den Parametern Nd und Hg geringfügig überschritten. Hier hätten weitere Proben entnommen und untersucht werden müssen.

SSF Schredderanlage 2

Die Gesamtstreuungen im Vergleich zu Schredderanlage 1 waren deutlich höher. Ursache ist wahrscheinlich das größere Maximalkorn (< 18 mm) anstelle < 2 mm bei Schredderanlage 1. Es gibt deshalb nur wenige Parameter (Zn, Sb und Be), bei denen die erweiterte Gesamtunsicherheit < 30 % sind. Die Einzelergebnisse des Parameters BTEX weisen erwartungsgemäß eine größere Streuung. Bei den Parametern Co, Cu, Cd, Hg, Ag und Sn werden in einzelnen Proben deutlich höheren Gehalten als die anderen Proben gefunden, wodurch sich die Gesamtstreuung auf > 30 % erhöht.

Das für die Repräsentativität der Probennahme zulässige Verhältnis von Probennahmestreuung zu Analysenstreuung wurde bei den Parametern Kohlenwasserstoff-Index und PCB überschritten. Hier hätten vor Ort weitere Proben entnommen und untersucht werden müssen.

SSF insgesamt

Die Gesamtstreuungen lagen bei der Schredderanlage 2 im Unterschied zu der Schredderanlage 1 bei fast allen Parametern über 30 %. Die berechneten Mittelwerte sind zwar repräsentativer als jeder Einzelwert, aber möglicherweise wäre der Median besser zur Charakterisierung geeignet, schließt er doch Extremwerte aus der Betrachtung aus. Die Elemente sind in dieser Matrix sehr inhomogen verteilt, sie lassen sich auch durch Zerkleinern kaum homogenisieren.

Stahlprodukt

Aufgrund der großen Probenmasse und detaillierter Untersuchung mittels der mobilen Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) konnte der Analysenfehler im Labor gering gehalten werden. Aussagen zum Probennahmefehler sind nicht möglich. Aus heutiger Sicht würden wir bei der Probennahme mittels mobiler RFA einzelne Fraktionen unterscheiden und diese gezielter in die Laborproben überführen.

Metallmischfraktion nach Handklaubung

Aufgrund der großen Laborprobenmasse und Ähnlichkeit der aufgefundenen Produkte konnte man davon ausgehen, dass die Beprobung belastbare Ergebnisse liefert. Die Anteile wurden je für die Hauptfraktionen Cu und Fe abgeschätzt. Dies genügte, da außer Cu im Wesentlichen nur Eisenbestandteile vorlagen, neben geringen Störstoffanteilen. Alle anderen Elemente konnten aufgrund der geringen Masse vernachlässigt werden.

Die Probenvorbereitung im Labor, besonders für die SLF, war sehr aufwendig durch die Separierung in Fraktionen und Ermittlung der Kornverteilung, Homogenisierung und weitere Zerkleinerung. Die Ergebnisse der Fraktionierungen zeigen eine sehr gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen den drei Mischproben (a 60 l). Diese kann auch als Gütemaß für Probennahme und Probenvorbereitung benutzt werden.

Fehler in der Auswertung/Berichtserstellung:

Alle Schritte der Probenvorbereitung im Labor wurden nachgerechnet und überprüft. Die Analysenergebnisse wurden auf Plausibilität geprüft. Die aus den Prüfberichten erstellten übersichtlichen Zusammenfassungen wurden ebenso auf Richtigkeit geprüft, so dass Fehler möglichst ausgeschlossen wurden.

2.12 Ergebnisse der Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagnen und deren statistische Genauigkeit und Sicherheit

Zur Bestimmung der Qualität und Sicherheit der Daten wurden die Ergebnisse der interessierenden Stoffströme (Input an Altfahrzeugen/ Restkarossen sowie Outputströme der Wertstoffe/ Schadstoffe) der Demontage- und Schredderanlagen sowie deren statistische Parameter (Varianz und Konfidenzintervalle) je Anlagenart und Altfahrzeugschicht dargestellt. Zur Berechnung der Qualität und Genauigkeit der Ergebnisse wurden die erforderlichen Varianzen oder Variationskoeffizienten für alle relevanten Zielgrößen zwischen den Auswahlstufen (Demontage- und Schredderanlagen) und zwischen den Altfahrzeugen/ Restkarossen auf Basis der erhobenen Daten an den Demontageanlagen berechnet. In Kapitel 2.7.6.2. findet sich eine genauere Beschreibung der Berechnung und in Tabelle 16 des genannten Kapitels Schätzwerte der Varianzen aus Literaturdaten.

Die Varianzen zwischen den Demontageanlagen beruhten auf Ergebnissen der drei Anlagen zueinander, während die Varianz zwischen den Altfahrzeugen für alle drei Anlagen zusammen bestimmt wurde. Die Varianzen zwischen den Karossen für den Schredder mussten geschätzt werden. Als Schredderinput wurden die Karossen des Demontage-Outputs definiert. Deren Gewichte sowie die Varianzen ebendieser wurden entsprechend der Zusammensetzung des Schredder-Outputs auf die entsprechenden Stoffströme verteilt. Somit wurden die Erwar-tungswerte für den Schredder-Output sowie deren Varianzen berechnet. In Tabelle 64 sind die für die Berechnung erforderlichen statistischen Parameter zusammengestellt.

Tabelle 64: Variationskoeffizienten einzelner Stoffströme zwischen Anlagen und Altfahrzeugen für Demontage und Schredder - Variationskoeffizienten ohne Schichtunterscheidung

Zielgrößen	Zwischen Demontageanlagen [1], Literatur	Zwischen Demontageanlagen [1], Untersuchung	Zwischen Altfahrzeugen [2], Literatur	Zwischen Altfahrzeugen [2], Untersuchung	Zwischen Schredderanlagen, Literatur	Zwischen Schredderanlagen, Untersuchung	Zwischen Restkarossen [3], Literatur	Zwischen Restkarossen [3] Untersuchung Schredderanlage 1	Zwischen Restkarossen [3] Untersuchung Schredderanlage 2
Ersatzteile (Demontageanlage)		**92 %**		**162 %**					
Wertstoffe (Demontageanlage)	**61 %**		**52 %**						
Wertstoffe Metalle		12 %		33 %					
Wertstoffe Nichtmetalle		13 %		32 %					
Schadstoffe (Demontageanlage)									
Schredderschrott					**24 %**	**1 %**	**52 %**	**27 %**	**29 %**
Schredderschwerfraktion gesamt (SSF)					**34 %**	**0 %**		**66 %**	**74 %**
davon Metalle in der SSF (Schredderanlage)						17 %		84 %	106 %
davon Nichtmetalle in der SSF (Schredderanlage)						20 %		107 %	103 %

Zielgrößen	Zwischen Demontageanlagen [1], Literatur	Zwischen Demontageanlagen [1], Untersuchung	Zwischen Altfahrzeugen [2], Literatur	Zwischen Altfahrzeugen [2], Untersuchung	Zwischen Schredderanlagen, Literatur	Zwischen Schredderanlagen, Untersuchung	Zwischen Restkarossen [3], Literatur	Zwischen Restkarossen [3] Untersuchung Schredderanlage 1	Zwischen Restkarossen [3] Untersuchung Schredderanlage 2
Schredderleichtfraktion gesamt (SLF)					**77 %**	**14 %**	**84 %**	**56 %**	**56 %**
davon Metalle in der SLF (Schredderanlage)						11 %		203 %	244 %
davon Nichtmetalle in der SLF (Schredderanlage)						16 %		58 %	58 %
Abweichungen						**22 %**		**344 %**	**446 %**

[1]) Varianzen der Mittelwerte zwischen den drei Demontageanlagen

[2]) Varianzen zwischen den Altfahrzeugen für alle Demontageanlagen zusammen

[3]) Berechnet aus Gewichtsverteilung Schredderinput mit Zusammensetzung aus Ergebnissen des Schredderversuches

Wie in Tabelle 64 zu sehen ist, war die Varianz für Ersatzteile sowohl zwischen den Anlagen sowie auch zwischen den Altfahrzeugen sehr hoch (90 % respektive 162 %). Dies glich sich mit den Ergebnissen aus der Voruntersuchung (siehe Tabelle 19). Für die Wertstoffe (metallisch sowie nichtmetallisch) war der Variationskoeffizient zwischen den Anlagen und zwischen den Altfahrzeugen sehr niedrig und weitaus niedriger als in der statistischen Planung der Kampagne geschätzt.

Bei den Daten des Schredderversuches lagen keine Informationen zu Varianzen zwischen den Restkarossen vor. Die Varianz des Schredderschrottes zwischen den Anlagen lag sehr niedrig bei 1 % und deutlich unter dem Schätzwert von 24 %. Dies lag vor allem daran, dass beide Anlagentypen nahezu identische Anteile an Schredderschrott erzeugten.

Bei der Schredderschwerfraktion (SSF) und der Schredderleichtfraktion (SLF) zeigte sich ein ähnliches Bild. Die Varianzen für den Anteil der SSF und SLF am gesamten Stoffstrom waren deutlich niedriger als geschätzt und die Varianz ging bei SSF sogar gegen 0. Die Aufteilung in metallisch und nichtmetallisch unterschied sich jedoch deutlich bei den beiden Anlagentypen. Im Falle der Nichtmetalle in den SSF wurde die größte Varianz erwartet.

Tabelle 65: Stoffbilanz und Varianzbestimmung des Schredderversuches Demontagebetrieb 1 n=211 (A^4)

Stoffströme Demontage	[t/Versuch]	[%]	[kg/ELV]	[Varianz]	KI [±%]
Eingangsgewicht Altfahrzeuge [1)]	212,8	100 %	1.008,3	46.052	3 %
Schadstoffe	2,7	1 %	12,6	37	6 %
Ersatzteile	2,2	1 %	10,6	16.396	56 %
Metallische Wertstoffe	6,0	3 %	28,4	29	3 %
Nichtmetallische Wertstoffe	5,4	3 %	25,7	20	2 %
Flüssigkeiten	3,3	2 %	15,8	189	11 %
Summe Demontage	19,6	9 %	93,1	3.657	9 %
Ausgang Restkarossen Demontage	191,2	90 %	906,0	41.710	3 %
Abweichung Demontage [7)]	2,0	1 %	9,3	1.100	48 %

Tabelle 66: Stoffbilanz und Varianzbestimmung des Schredderversuches Demontagebetrieb 2 +3 n=214 (A^4)

Stoffströme Demontage	[t/Versuch]	[%]	[kg/ELV]	[Varianz]	KI [±%]
Eingangsgewicht Altfahrzeuge [1)]	224,2	100 %	1.047,7	64.247	3 %
Schadstoffe	2,9	1 %	13,4	39	6 %
Ersatzteile	3,1	1 %	14,3	9.294	46 %
Metallische Wertstoffe	7,2	3 %	33,8	180	5 %
Nichtmetallische Wertstoffe	6,8	3 %	31,6	145	5 %
Flüssigkeiten	4,5	2 %	21,1	143	7 %
Summe Demontage	19,9	9 %	93,1	5.083	8 %
Ausgang Restkarossen Demontage	199,3	94 %	948,8	52.213	3 %

Stoffströme Demontage	[t/Versuch]	[%]	[kg/ELV]	[Varianz]	KI [±%]
Abweichung Demontage [7)]	5,0	2 %	23,9	881	166 %

Tabelle 67: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Demontagebetriebe - Konfidenzintervall (A[4])

Stoffströme Demontage	Demontagebetrieb 1 [kg/ELV]	Demontagebetrieb 1 + 3 [kg/ELV]	Signifikant?
Eingangsgewicht [1)]	979,4 – 1.037,3	1.013,8 – 1.081,7	Nein
Schadstoffe	11,8 - 13,4	12,6 - 14,2	Nein
Ersatzteile	4,6 - 16,5	7,8 - 20,9	Nein
Metallische Wertstoffe	27,7 – 29,1	32,1 - 35,5	Ja
Nichtmetallische Wert-stoffe	25,1 - 26,3	30,1 - 33,1	Ja
Flüssigkeiten	14,1 - 17,5	19,5 - 22,7	Ja
Summe Demontage	84,9 - 101,2	85,3 - 100,9	Nein
Abweichung Demontage [7)]	4,8 - 13,8	-15,7 - 63,6	
Ausgang Demontage	878,4 - 933,5	917,6 - 980	Nein

Tabelle 68: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Schredderanlage 1 n=210 (B[5])

Stoffströme Schredder	[t/Versuch]	[%]	[kg/ELV]	[Varianz] [2)]	KI [±%]
Schredderschrott	133,4	72 %	635,2	29.802	4 %
Metall	133,4	72 %	635,2	29.802	4 %
Nicht-Metall	0,0	0 %	0.0	-	-
Schredderschwerfraktion Insgesamt	21,6	12 %	102,9	4.826	9 %
Metall	13,3	7 %	63,3	2.971	11 %
Nicht-Metall	8,3	4 %	39,5	1.854	14 %
Schredderleichtfraktion Insgesamt	30,5	16 %	145,2	6.814	8 %
Metall	2,3	1 %	11,0	514	27 %
Nicht-Metall	28,2	15 %	134,3	6.300	8 %
Anlieferung (Summe)	186,3	100 %	887,1	41.620	3 %
Abweichung Schredder[8)]	0,8	< 0,5 %	3,8	179	47 %

Tabelle 69: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Schredderanlage 2 n=214 (B[5])

Stoffströme Schredder	[t/Versuch]	[%]	[kg/ELV]	[Varianz] [2)]	KI [±%]
Schredderschrott	137,9	70 %	644,4	36.291	4 %
Metall	135,0	68 %	630,8	35.528	4 %
Nicht-Metall	2,9	1 %	13,6	763	27 %
Schredderschwerfraktion Insgesamt	21,9	11 %	102,3	5.763	10 %
Metall	10,7	5 %	50,0	2.816	14 %
Nicht-Metall	11,2	6 %	52,3	2.948	14 %
Schredderleichtfraktion Insgesamt	38,0	19 %	177,6	10.000	8 %
Metall	2,0	1 %	9,3	526	33 %
Nicht-Metall	36,0	18 %	168,2	9.474	8 %
Abweichung Schredder[8)]	0,6	< 0,5 %	2,8	158	60 %
Anlieferung (Summe)	198,4	100 %	927,1	52.213	3 %

Tabelle 70: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Schredderanlagen - Konfidenzintervall (B[5])

Stoffströme Schredder	Schredderanlage 1 [kg/ELV]	Schredderanlage 2 [kg/ELV]	Signifikant?
Schredderschrott	612,3 - 658,1	619 - 669,8	Nein
Metall	612,3 - 658,1	605,7 - 656	Nein
Nicht-Metall		9,9 - 17,2	-
Schredderschwerfraktion Insgesamt	93,6 - 112,1	92,2 - 112,5	Nein
Metall	56,1 - 70,6	42,9 - 57,1	Ja
Nicht-Metall	33,8 - 45,2	45,1 - 59,6	Ja
Schredderleichtfraktion Insgesamt	134,3 - 156,2	164,2 - 190,9	Ja
Metall	7,9 - 14	6,3 - 12,4	Nein
Nicht-Metall	123,8 - 144,8	155,2 - 181,2	Ja
Abweichung Schredder[8)]	2 - 5,6	1,1 - 4,5	Nein
Anlieferung (Summe)	860,1 - 914,2	896,6 - 957,6	Nein

Tabelle 71: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Demontage 1 +Schredderbetrieb 1 (C)

	Bereich	Anteilsberechnung [3)]	[%]	[kg/ELV]	[Varianz] [6)]	KI [±%]
C1	Demon-tage	Stoffliche Verwertung	6,1 %	61,5	2.772	12 %
C2		Energetische Verwertung	1,3 %	13,1	591	25 %
C3		Wiederverwendung	2,6 %	26,2	1.181	18 %
		Abweichung Demontage + Transport	2,4 %	24,2	1.090.611	18 %
C4	Schred-der	Stoffliche Verwertung	74,9 %	678,6	31.241	4 %
C5		Energetische Verwertung	12,2 %	110,5	5.089	9 %
C6		Deponierung	0,0 %	0,2	8	215 %
		Abweichung Schredder	0,4 %	3,6	167	48 %
	Anteile bezogen auf Summe Output (exklu-sive Ver-luste)[9)]	Wiederverwendung und Ver-wertung	99,98 %	1.008,1	45.433	3 %
		Stoffliche Verwertung	86,1 %*	868,1	39.121	3 %

* Aufgrund von Rundungsdifferenzen ergeben die Einzelwerte, die in der Tabelle dargestellt sind nicht die hier genannte (korrekte) Summe.

Tabelle 72: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Demontage 2/3 + Schredderbetrieb 2 (C)

	Bereich	Anteilsberechnung [3)]	[%]	[kg/ELV]	[Varianz] [6)]	KI [±%]
C1	Demon-tage	Stoffliche Verwertung	6,9 %	72,3	4.433	12 %
C2		Energetische Verwertung	1,5 %	15,7	964	27 %
C3		Wiederverwendung	2,5 %	26,2	1.606	21 %
		Abweichung Demontage + Transport	0,6 %	6,3	385	42 %
C4	Schredder	Stoffliche Verwertung	75,6 %	703,9	39.473	4 %
C5		Energetische Verwertung	9,8 %	91,2	5.117	11 %
C6		Deponierung	2,8 %	26,1	1.462	20 %
		Abweichung Schredder	0,3 %	2,8	157	61 %
	Anteile be-zogen auf Summe Output (ex-klusive Ver-luste)[9)]	Wiederverwendung und Verwertung	97,2 %	1.018,5	62.456	3 %
		StofflicheVerwertung	85,8 %	898,7	55.110	4 %

Tabelle 73: Stoffbilanz und Varianzbestimmung: Bereich Konfidenzintervall (C)

Bereich	Anteilsberechnung [3)]	Demontage 1 + Schredderbetrieb 1	Demontage 2/3 + Schredderbetrieb 2	Signifikant? [-]
Demon-tage	Stoffliche Verwertung	5,34 % - 6,86 %	6,04 % - 7,76 %	Ja
	Energetische Verwertung	0,95 % - 1,65 %	1,1 % - 1,9 %	Nein
	Wiederverwendung	2,06 % - 3,14 %	1,98 % - 3,02 %	Nein
	Abweichung Demontage + Transport	1,39 % - 3,41 %	0,35 % - 0,85 %	Ja
Schredder	Stoffliche Verwertung	72,04 % - 77,76 %	72,71 % - 78,49 %	Nein
	Energetische Verwertung	10,91 % - 13,49 %	8,76 % - 10,84 %	Ja
	Deponierung	0,02 % - 0,02 %	2,24 % - 3,36 %	Ja
	Abweichung Schredder	0,16 % - 0,64 %	0,12 % - 0,48 %	Nein
Anteile[9)]	Wiederverwendung und Verwertung	96,66 % - 103,3 %	93,99 % - 100,44 %	Nein
	Stoffliche Verwertung	83,05 % - 89,13 %	82,75 % - 88,81 %	Nein

[1)] Eingangsgewicht nach Waage
[2)] Geschätzt auf Basis der Mengen/Varianzen von Karossen im Schreddereingang sowie der Zusammensetzung der Stoffströme im Schredderausgang
[3)] Prozente bezogen auf das Eingangsgewicht der Demontage.
[4)] Für jedes Fahrzeug wurde die berichtete Demontage zu den definierten Stoffgruppen aufsummiert. Die Varianz der Stoffströme konnte also zwischen den einzelnen Altfahrzeugen berechnet werden. Die Anzahl der Altfahrzeuge in der Demontage (n) bezieht alle Altfahrzeuge ein, welche zum Zeitpunkt der Auswertung (09.05.2016) zur Verfügung standen. Falls keine gültigen Wiegegewichte zur Verfügung standen (bei 2 Fahrzeugen), wurden diese auf der Grundlage der Briefgewichte bestimmt (Leergewicht laut Fahrzeugbrief minus Demontage).
[5)] Die Varianzen zwischen den Karossen für den Schredder mussten geschätzt werden. Als Schredderinput wurden die Karossen des Demontage-Outputs definiert. Deren Gewichte sowie die Varianzen ebendieser wurden entsprechend der Zusammensetzung des Schredder-Outputs auf die entsprechenden Stoffströme verteilt. Somit wurden die Erwartungswerte für den Schredder-Output sowie deren Varianzen berechnet.
[6)] Geschätzt auf Basis der Mengen/Varianzen von Karossen im Demontageeingang sowie der Verwertungsquoten Demontage + Schredder.
[7)] Abweichung = Eingang Demontage (gewogen) - [Ausgang Restkarossen aus Demontage + Summe Demontage]
[8)] Abweichung Schredder = Schredderinput – Schredderoutput
[9)] Die Berechnung der Anteile zur Wiederverwendung und Verwertung sowie zur stofflichen Verwertung ergibt sich für die Demontage- und Schredderversuche (Monoversuche nur mit Altfahrzeugen/ Restkarossen) aus den Stoffbilanzen und sind nicht mit der Quotenberechnung nach Altfahrzeugverordnung zu vergleichen.
Die Anteile beziehen sich auf die Verwertung exklusive Verluste und ergeben sich daher nicht aus den Summen der Zeilen C1 bis C6.

2.12.1 Genauigkeit und Sicherheit der Ergebnisse

Als Ziel für die Genauigkeit und Sicherheit der wichtigsten Output-Stoffströme und Verwertungs-/ Recyclinganteile wurde eine zulässige Abweichung von ± 5 % vorgegeben. Berechnete man nun die obere und untere Grenze des Konfidenzintervalls der Schätzwerte für die interessierenden Merkmale, so konnten die Qualität, die Vertrauenswürdigkeit und die Belastbarkeit der Ergebnisse geprüft werden. In Tabelle 65und folgende sind die relativen Abweichungen der Schätzwerte (hier die Stoffstrommengen in kg/ELV) in den jeweils letzten Spalten (KI [± %]) ausgewiesen. Es ist zu erkennen, dass die Hauptstoffströme in einem Bereich von ± 5 % liegen. Für den Stoffstrom Ersatzteile aus der Demontage und für die Stoffströme Schredderschwerfraktion-Nichtmetalle, Schredderleichtfraktion-Metalle

und die Verluste aus dem Schredder wurde diese Vorgabe nicht erreicht. Hier lagen die Abweichungen teilweise erheblich über ± 5 %. Der Ersatzteilausbau während der Demontage war nicht ausschließlich von der Beschaffenheit und dem Zustand der Altfahrzeuge abhängig, sondern auch stark von nicht vorhersehbaren wirtschaftlichen Faktoren (Nachfrage, Absatz, Metallpreis usw.). Diese Schwankungen wären nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand (Stichprobenumfang) abzusichern. Bei den Output-Stoffströmen aus dem Schredder, welche die vorgegebene Genauigkeit nicht erfüllten, handelte es sich um sehr geringe fahrzeugspezifische Mengen (zwischen 0 und 1 %). Auch hier wäre die vorgegebene Genauigkeit nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand (Stichprobenumfang) zu erreichen.

Die Zusammenfassung der betrachteten Stoffströme zu Verwertung, Recycling und Deponierung und die daraus berechneten Anteile ergaben für die sehr kleinen Ströme mittlere Genauigkeitswerte (< ± 28 %). In der Gesamtbetrachtung der Wiederverwendung und Verwertung sowie der stofflichen Verwertung sind die Genauigkeitswerte unterhalb der angestrebten 5 % (< ± 4 %). Nur die Deponierung von Demontageanlage 1 + Schredderanlage 1 liegt weit oberhalb der angestrebten Genauigkeit. Die Abweichungen in der Bilanz waren vor allem auf Messungenauigkeiten zurückzuführen, sind also stark zufallsbedingt, was zu hohen Konfidenzintervallen führte. Mit den durchgeführten Verwertungs- und Schredderversuchen ließen sich Verwertungs- und Recyclinganteile mit hoher Qualität (d. h. hoher Genauigkeit und Sicherheit) bestimmen.

2.12.2 Repräsentativität

Ein weiteres Qualitätsmerkmal stellt die Repräsentativität der Altfahrzeug-Stichprobe dar. Sie soll ein möglichst wahrheitsgetreues Abbild der Grundgesamtheit darstellen. Dies kann zum einen aufgrund der zulässigen Abweichungen vom Schätzwert gewährleistet werden und zum anderen müssen alle Einflussfaktoren, die in der Grundgesamtheit identifiziert wurden (Anlagentypen und Fahrzeuggrößenklassen/ Zustandsveränderungen), sich auch in der Stichprobe widerspiegeln. Die erreichte Genauigkeit der interessierenden Merkmale kann für die Demontagebetriebe als zufriedenstellend angesehen werden (vgl. Tabelle 65). Zur Repräsentativität der gewählten Schredderanlagen hinsichtlich des Verbleibs der Outputfraktionen siehe 4.3.5.3 (über Tabelle 166).

Zur Überprüfung, ob die in der Grundgesamtheit identifizierten Einflussgrößen in der Stichprobe ausreichend berücksichtigt wurden, wurde geprüft, ob die Fahrzeuggrößenklassen/ Zustandsveränderungen in ausreichender Anzahl in den Schichten berücksichtigt wurden. Die Fahrzeuge aus der Demontage und dem Schredder-Input wurden getrennt nach Anlagen betrachtet. Die Altfahrzeuge aus den Demontagebetrieben 2 und 3 wurden zusammengefasst, da diese gemeinsam in die Verwertung in die Schredderanlage 2 gingen. Die Verteilung der Stichprobeneinheiten auf die Schichten ist wie im Kapitel 2.7 beschrieben aus den Daten für 2015 der Betriebe Schredderanlage 1 und Schredderanlage 2 erstellt. Der Tabelle 26 in Kapitel 2.7.9 ist zu entnehmen, dass die demontierten und geschredderten Altfahrzeuge bezüglich Fahrzeuggrößenklassen/ Zustandsveränderungen eine ausreichende Besetzung in den Schichten bei diesen beiden Firmen zeigen[10].

Die Stichprobenauswahl der Altfahrzeuge kann bezüglich der Schichtbesetzung nach in Frage kommenden Einflussgrößen als ausreichend bezeichnet werden. Unter der Voraussetzung, dass die tatsächlichen Verteilungen der Einflussparameter in der Grundgesamtheit hinreichend gut abgeschätzt werden können, kann mit der Stichprobe eine zufriedenstellende Hochrechnung vorgenommen werden.

Darüber hinaus wurden noch weitere Einflussparameter (die in der Stichprobenplanung aufgrund ihrer geringeren Relevanz nicht berücksichtigt wurden) auf ihre Verteilung in der Stichprobe geprüft. Tabelle

[10] Datengrundlagen, die die Bestimmung der Repräsentativität für Deutschland betrachtbar machen könnten, liegen nicht vor.

74 und Tabelle 75 ist die Verteilung der Stichprobenanzahlen/ -anteile, bezogen auf die Hersteller-/ Markenstruktur der Altfahrzeuge und die Altersstruktur der Altfahrzeuge, zu entnehmen. Die Hersteller-/ Markenstruktur der Altfahrzeuge zeigt eine ähnliche Verteilung wie der niedersächsische Quotenversuch in Deutschland (TÜV NORD GmbH 2006) (mit Ausnahme des Volkswagen-Anteils) und die Altersstruktur der Altfahrzeuge mit der Verteilung der Schredderergebnisse in UK vergleichbar ist (Department of Business 2015).

Tabelle 74: Vergleich der realisierten Stichprobenanzahlen nach Hersteller-/ Markenstruktur

Marke	TÜV NORD GmbH (2006)	Demontagebetrieb 1 (n=211)	Demontagebetrieb 2 (n=214)
Ford	21 %	22 %	14 %
Opel	23 %	17 %	18 %
VW	24 %	9 %	13 %
Renault	7 %	11 %	12 %
Fiat	6 %	8 %	2 %
Peugeot	2 %	4 %	3 %
Seat	8 %	3 %	2 %
Nissan	4 %	2 %	3 %
Citroen	2 %	3 %	3 %
Rover		1 %	3 %
Mazda	2 %	1 %	3 %
Volvo		3 %	1 %
BMW		1 %	3 %
Honda		1 %	1 %
Mercedes		1 %	3 %
Hyundai		1 %	2 %
Audi		0 %	3 %
Suzuki		3 %	0 %
Mitsubishi		1 %	1 %
Skoda		1 %	2 %
Alfa Romeo		1 %	1 %
Kia		1 %	1 %
Daihatsu		0 %	1 %
Chrysler		0 %	1 %
Daewoo		0 %	2 %
k. A.		2 %	0 %

Tabelle 75: Vergleich der realisierten Stichprobenanzahlen nach Altersstruktur

Alter	UK Mayer Environmental (2015) [1)] n=400	Demontagebetrieb 1, n=211	Demontagebetrieb 2, n=214Daten verfügbar für n=85
38		0 %	0 %
37		0 %	0 %
36		0 %	0 %
35	0 %	0 %	0 %
34		0 %	0 %
33		0 %	0 %
32		0 %	0 %
31		0 %	0 %
30		0 %	0 %
29		1 %	0 %
28		0 %	0 %
27		1 %	1 %
26	0 %	0 %	1 %
25	0 %	5 %	0 %
24		4 %	4 %
23	1 %	6 %	6 %
22	1 %	8 %	4 %
21	1 %	15 %	7 %
20	4 %	13 %	18 %
19	8 %	13 %	11 %
18	6 %	17 %	19 %
17	11 %	6 %	12 %
16	14 %	5 %	12 %
15	16 %	3 %	4 %
14	15 %	1 %	1 %
13	11 %	0 %	0 %
12	6 %	1 %	0 %
11	4 %	0 %	1 %
10	1 %	0 %	0 %
9	1 %	0 %	0 %
8	0 %	0 %	0 %
7		0 %	1 %
6		0 %	0 %
5		0 %	0 %
4		0 %	0 %
3		0 %	0 %
2	0 %	0 %	0 %
1	0 %	0 %	0 %

[1)] Mayer Environmental (2015): Studie in 2015 veröffentlicht. Fahrzeuge wurden in 2014 gesammelt, daher die Altersberechnung auf dieses Jahr bezogen.

Das Durchschnittsalter lag bei Mayer Environmental (2015) bei 14,6 Jahre, bei der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne dieses Projektes für Demontagebetrieb 1 bei 19,5 Jahren, Demontagebetrieb 2 bei 18,1 Jahren und Demontagebetrieb 3 bei 20,9 Jahren.

2.12.3 Vergleich mit anderen Schredderkampagnen

In der Tabelle 76 werden die Ergebnisse der Schredderkampagne mit Ergebnissen aus der Literatur verglichen. Der Vergleich der Ergebnisse aus verschiedenen Quellen wurde auf den Stoffstrom „Schredderschrott“ beschränkt, in der Annahme, dass dieser in allen Anlagen in ähnlicher Qualität abgetrennt werden kann.

Deutlich zu sehen sind Unterschiede beim letzten in der Tabelle 76 aufgeführten Schredderversuch der Firma Scholz (Schubert et al. (2006)). Sowohl zwischen Altfahrzeugen mit Motor und Getriebe bestehen große Unterschiede als auch zwischen den Ergebnissen der damaligen zur aktuellen Studie. Die großen Unterschiede in den Mengen des Schredderschrottes können der Demontage zugeordnet werden. Bei Fahrzeugen ohne Motor lag die Demontage bei rund 38,5 %, während bei Fahrzeugen mit Motor diese bei 17,3 % lag. Die Bilanzen zeigen, dass die Demontageleistung im aktuellen Versuch bei rund 10 % - 10,8 % lag.

Beim Quotenversuch Norddeutschland (TÜV Nord GmbH (2006)) wurde auch getrennt nach Altfahrzeugen mit und ohne Motor geschichtet, jedoch in der Auswertung zusammengefasst. Die Demontageleistung lag hier bei 15,8 %. Beim Schredderversuch in Irland (Gaillot, McCormack 2014) wurden die Altfahrzeuge geschichtet nach M1 (Passagierfahrzeug) und N1 (Transporter). Beim Schredderversuch in Spanien (SIGRAUTO; 2010) wurden die ersten 100 Fahrzeuge verwendet, welche an verschiedenen Anlagen anfielen. Dies wurde als repräsentativer Schnitt der sonst anfallenden Altfahrzeuge angesehen und keine weitere Schichtung vorgenommen. Bei der Schredderkampagne von BMW (Recycling magazine; 2008) wurden ausschließlich die Komponenten demontiert, für die ein Bedarf im Markt besteht (z. B. Räder oder Front- und Heckleuchten). Keine eigenständig arbeitende Demontageanlage war hier für die Demontage zuständig. Es ist daher nicht klar, wie vergleichbar die Demontageleistung mit denen anderer Versuche ist. Dies könnte der Grund für die im Vergleich hohen Anteile an Stahlschrott sein.

Im Falle der Schredderkampagne aus Großbritannien (Mayer Environmental; 2015) wurde eine ähnliche Schichtung vorgenommen, wie in dieser Studie. Ankommende Fahrzeuge wurden in Größenklassen eingeteilt (z. B.: Mini, Luxury, Sports, Large Van) und die Schichtgröße anhand von Registrierungen entsprechender Wagen bestimmt.

Tabelle 76: Vergleich Schredder-Output "Stahlschrott" mit Literaturquellen

Quelle	n	[kg/Versuch]	[kg/Altfahrzeug]	Literaturquelle
Schredderanlage 1	210	133.500	632,7	Aktuelle Studie
Schredderanlage 2	214	137.900	644,4	Aktuelle Studie
Irland	100	71.600	716,0	Gaillot, McCormack (2014)
BMW	501	382.620	763,7	Recycling magazine (2008)
TÜV Nord	396	199.939	504,9	TÜV NORD GmbH (2006)
Spanien	931	492.292	528,8	SIGRAUTO (2010)
UK	400	280.600	701,5	Mayer Environmental (2015)
Scholz [1)]	504	189.260	375,5	Schubert et al. (2006)
Scholz [2)]	225	121.640	540,6	Schubert et al. (2006)

[1)] Ohne Motor und Getriebe
[2)] Mit Motor und Getriebe

Die Bewertung zeigt deutlich, dass ein exakter Vergleich der Ergebnisse nur unter erneuter Analyse und Bewertung der Literaturdaten geschehen kann, um methodische Unterschiede auszugleichen. Es

kann jedoch festgestellt werden, dass trotz methodischer Unterschiede, die Menge des in diesem Versuch abgetrennten Schredderschrottes in der gleichen Größenordnung anfällt, wie in anderen europäischen Studien.

2.12.4 Vergleich der Anlagentypen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollte auch die Frage beantwortet werden, ob aufgrund unterschiedlicher Anlagentechnologie sowohl in der Demontage als auch beim Schreddern die Ergebnisse signifikant abweichen und damit eine Einbeziehung unterschiedlicher Anlagentechnologien in Verwertungs- und Schredderkampagnen zwingend erforderlich machen. Um Unterschiede bewerten zu können, wurden die Schätzwerte und die zugehörigen Konfidenzintervalle zwischen den Anlagen für Demontage und Schredder verglichen. Weichen die Schätzwerte so stark voneinander ab, dass auch die zugehörigen Konfidenzintervalle sich nicht überlappen, kann von signifikanten Unterschieden ausgegangen werden.

Bei der Demontage ist bis auf die Ersatzteile, für die aufgrund der großen Varianzen keine Signifikanzen nachweisbar sind, ein unterschiedliches Ausbau- und Verwertungsverhalten zu erkennen. Für den Bereich des Schredderns sind signifikante Unterschiede in den Unterstoffgruppen der Schredderschwerfraktion und für die gesamte Schredderleichtfraktion festzustellen, die auf die Aufbereitungstechnologie zurückzuführen sind.

Die Massenbilanzen des Schredders und die daraus bestimmten Variationskoeffizienten zeigen, dass die Auftrennung nach den Hauptstoffströmen Schrott und SSF in den Anlagen wenig variieren. Hier scheinen die technologischen Unterschiede kaum eine Rolle zu spielen. Insbesondere Schredderschrott und die SSF mit einem Variationskoeffizienten von 1 % respektive < 1 % sei hier hervorgehoben. Bei dem Stoffstrom SLF und den in weiteren in der PST abgetrennten Wertstoffen der SSF und SLF machen sich dann jedoch in der Auftrennung dieser Stoffströme in metallisch und nichtmetallisch Unterschiede bemerkbar. Bei der nichtmetallischen SSF in der Schredderanlage 2 z. B. steigt der zulässige Fehler auf ca. 80 % an. Die Unterschiede in der PST zwischen den Anlagen haben also einen Einfluss auf die Trennschärfe von Metall und Nichtmetall.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die differenzierte Untersuchung nach Anlagentypen in Teilbereichen zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Bei der Planung von Verwertungs- und Schredderversuchen sollte eine Schichtung nach diesen Kriterien festgeschrieben werden.

2.12.5 Zusammenfassung und Bewertung

Die Auswertung und Qualitätsbetrachtung der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderversuche hat gezeigt, dass die am Markt vorhandenen Aufbereitungstechnologien einen Einfluss auf die Verwertungsmengen und damit auch auf die Quotenberechnung haben. So wurde bei stark ausdifferenzierende Aufbereitungstechnik ein höherer stofflicher und energetischer Verwertungsgrad erreicht, als bei weniger differenzierender Technik. Bei der Planung zukünftiger Verwertungs- und Schredderkampagnen sind diese Unterschiede entsprechend zu berücksichtigen.

Die festgestellten Altfahrzeugmassen unterschieden sich ebenso wie die Zusammensetzungen über die Entsorgungsketten. Die Schichtung führt aufgrund dieser Unterschiede zu einer Verringerung der Varianzen und somit auch des notwendigen Stichprobenumfanges. Die aus der Literaturrecherche bestimmten Informationen und Annahmen konnten insofern bestätigt werden. Für eine Schichtung in Masse- und Zustandsklassen kann eine klare Empfehlung ausgesprochen werden.

Es können folgende Kernaussagen zusammengefasst werden:

- Der Anteil der Schredderleichtfraktion am Restkarosseninput der Schredderanlagen betrug in dieser Altfahrzeugsverwertungs- und Schredderkampagne 22,5 % siehe Tabelle 168.
- Der Anteil des durchschnittlichen Metallgehalts in den Altfahrzeugen, der einer Verwertung zugeführt wurde, betrug 75 % (Betrieb 1) bzw. 71,7 % (Betriebe 2+3), siehe Tabelle 55.

- Die in den drei Demontagebetrieben angenommenen und verwerteten Altfahrzeuge waren durchschnittlich zwischen ca. 18 und 21 Jahre alt, siehe Tabelle 75.
- Die Beseitigung betrug 0,02 % bzw. 2,8 % bezogen auf das gewogene Altfahrzeuggewicht. Demnach läge die Verwertung über 99 % bzw. 97 %. Dokumentiert wurden Verwertungen von 97,1 % bzw. 96,3 %, siehe Tabelle 56.

Je mehr Demontagebetriebe in einen Verwertungs- und Schredderversuch einbezogen werden, desto höher ist die Repräsentativität des Ergebnisses. Für ein genaues Ergebnis böte es sich an, weitere Unternehmen pro Schicht mit einzubeziehen. Relativierend ist jedoch zu berücksichtigen, dass (auch kurzfristige) wirtschaftliche Erwägungen den Demontagegrad sowie die Auswahl der demontierten Teile stark beeinflussen können.

3 Schad- und Wertstoffanalysen

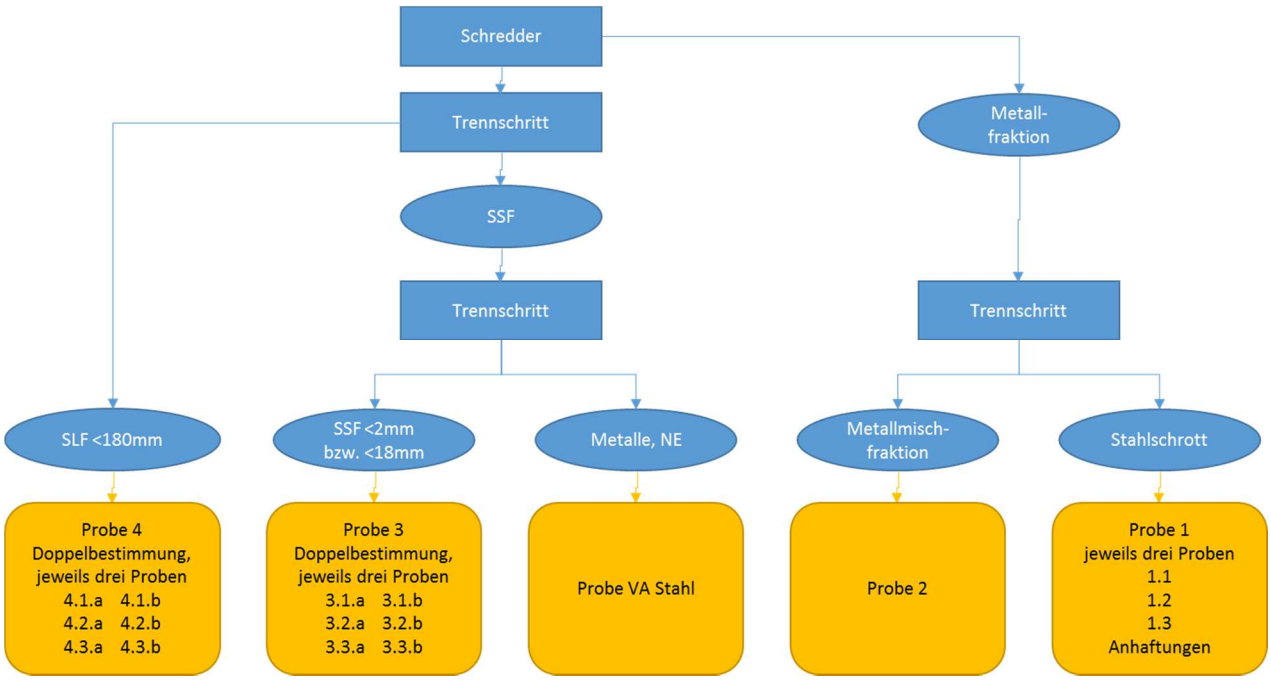
3.1 Einleitung und Zielstellung

Die Wertstoffgehalte sowie Schadstoff- und Störstoffgehalte der Outputfraktionen aus dem Schreddern von Restkarossen beeinflussen die in Frage kommenden Verwertungsmöglichkeiten. Zur Verbesserung der Erkenntnislage zu Wert- und Schadstoffgehalten der bei der Altfahrzeugverwertung erzeugten Fraktionen und zur Unterstützung der Bearbeitung der Fragestellungen zum Quotenmonitoring und zur Hochwertigkeit der Verwertung wurden ausgewählte Outputfraktionen aus der Schredderkampagne untersucht.

3.2 Untersuchungsumfang

In beiden Schredderanlagen wurde weitestgehend der gleiche Untersuchungsumfang durchgeführt. Abbildung 27 zeigt die vier verschiedenen Probenahmestellen für die chemischen Untersuchungen. Die Korngröße der untersuchten Schredderschwerfraktion der Firma 1 beträgt < 2 mm, der Firma 2 < 18 mm. Die Fraktionen wurden vor der weitergehenden Behandlung in der jeweiligen post-shredder-Technik entnommen.

Abbildung 27: Vereinfachtes Schema Probenahmestellen im Schredderprozess und Analytik



Aufgrund der zu erwartenden starken Heterogenität des zu untersuchenden Schreddermaterials wurden sowohl für SSF- als auch die SLF-Fraktionen jeweils drei die Grundmenge charakterisierende Mischproben zusammengestellt und jeweils doppelt untersucht. Vorteil dieser Vorgehensweise ist die kleinere Messunsicherheit des Mittelwertes und Aussagen zur Repräsentativität der untersuchten Merkmale (DIN 19698 Teil 2).

Damit wurden im Forschungsvorhaben alle mengenrelevanten Outputfraktionen untersucht. Der untersuchte Output deckt die Fraktionen ab, die für die Berichterstattung zum Monitoring der Altfahrzeugentsorgung an die EU-Kommission abgefragt werden.

Die Analysenparameter der Probenahmestellen sind in Tabelle 77 und Tabelle 78 dargestellt.

Tabelle 77: Untersuchungsumfang Stahlschrott und /Metallmischfraktion nach Handklaubung

Parameter	Bestimmungsmethode
Ausgewählte Störstoffe	Wägung und Dokumentation
Gehalt Eisen/Nichteisenmetalle	Mobile RFA und ICP-OES
Gehalt Edel- und Sondermetalle	Mobile RFA und ICP-OES
RFA-Screening zu Legierungen	mobile RFA

Die Bestimmung der Elemente Ta, Nd und Au erfolgte mit optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES). Für die RFA sind diese Elemente nicht in der Kalibrierung enthalten.

Mittels mobiler RFA wurden die Probenbestandteile der Laborproben für Stahlschrott und der Metallmischfraktion nach Handklaubung untersucht und gewichtsmäßig erfasst. Eine Mischprobenbildung war nicht notwendig.

Tabelle 78: Untersuchungsumfang Schredderleicht- und Schredderschwerfraktion

Parameter	Bemerkung
Korngrößenspektrum	Wägung und Dokumentation
Glühverlust	Labor
Wassergehalt	Labor
Anteil Glas/nicht-Glas-Mineralik/Kunststoffe und Elastomere/Al/Cu/Fe	Wägung und Dokumentation
Schadstoffe und Wertstoffe (Metalle): Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Sn, Au, Ag, Pd, Nd, Ta, Co, Sb, Be	ICP-OES Königswasser Druckaufschluss
Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (BTEX)	Labor
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	Labor
Totaler organischer Kohlenstoff (TOC)	Labor
Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW/Kohlenwasserstoff-Index)	Labor
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Labor
Bromierte Flammschutzmittel	Labor
Cl gesamt	Labor
Br gesamt	Labor

Für eine zusätzliche Informationsgewinnung folgende Untersuchungen durchgeführt:

Vom VA-Schrott, einem Teilstrom der Schredderschwerfraktion, beider Firmen wurden stichpunktartig verschiedene Teile je Anlage mittels tragbarer Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) untersucht, um Aussagen zu den enthaltenen Legierungen zu erhalten. Ziel war es dabei, Informationen über Legierungselemente auch aus dieser Fraktion zu erhalten.
Um Aussagen über die Zusammensetzung der Anhaftungen am Stahlschrott zu erhalten, wurden in Anlehnung an Widmer et al. (2015) sämtliche Teile einer Teilprobe des Stahlschrotts der Firma 1 komplett mit 1 %iger HNO_3 mittels Pinsel (mechanische Abreinigung) abgewaschen.
In Erweiterung der ursprünglich vorgesehenen Planung wurde im Verlauf des Projektes die optische Begutachtung auf alle Anfallstellen nach der post-shredder-Technik (119 bei der Firma 1 und 21 bei der Firma 2) ausgeweitet, um zusätzliche Informationen zur Beurteilung der Outputfraktionen auch nach der post-shredder-Technik zu gewinnen.

Ein Vergleich der Zusammensetzung des Metalloutput mit den Kriterien zum Ende der Abfalleigenschaft entsprechend den einschlägigen EU-Verordnungen erfolgt in Kapitel 3.4.4.

Eine weitergehende Bewertung der Ergebnisse erfolgt in den jeweiligen Kapiteln 4 und 5.

3.3 Probennahme und Untersuchungs- und Analysenmethoden

Die Probenahme wurde durch Probenahmeprotokolle inklusive Fotos dokumentiert. Fotos der jeweiligen Probenahmeorte sind in Kapitel 2.8.7 dieses Berichtes enthalten.

3.3.1 Probenahmen Firma 1

Die Beprobungen und optischen Bestimmungen fanden im Zeitraum vom 10.05.2016 bis zum 12.05.2016 auf dem Anlagegelände statt.

Am 10.05.2016 wurden der Stahlschrott (Probe 1), die Metallmischfraktion (Probe 2) und die Schredderleichtfraktion (SLF) (Probe 4) beprobt. Die Beprobung der Schredderschwerfraktion (SSF) (Probe 3) erfolgte am 11.05.2016, da diese als Ergebnis eines weiteren Trennschrittes erst an diesem Tag zur Verfügung stand.

Probe 1 Stahlschrott

Für die Beprobung des Stahlschrottes wurden mittels Baggerschaufel in regelmäßigen Abständen aus dem Fallstrom (Verweilzeit der Baggerschaufel im Fallstrom ca. 10 Sekunden) Teilproben entnommen (ca. alle 20 Minuten). Es wurden drei Teilhaufwerke wegen der später besseren Beprobbarkeit erzeugt. Das Gesamtvolumen betrug ca. 1 m^3. Von jedem Teilhaufwerk wurde bei der Probenahme eine Probenkiste mit ca. 60 l Inhalt gefüllt, so dass drei Kisten mit je 60 l in das Labor zur Untersuchung geliefert wurden.

Probe 2 Metallmischfraktion

Die Beprobung der Metallmischfraktion nach Handklaubung erfolgte aus dem abgelagerten Haufwerk im Anschluss. Es wurden zwei Probenkisten mit je 60 l für das Labor zusammengestellt.

Probe 3 SSF < 2 mm

Die Beprobung der Schredderschwerfraktion < 2 mm erfolgte am 11.05.2016 aus dem abgelagerten Haufwerk. Hier wurden drei repräsentative Mischproben aus je 6 1 L-Einzelproben nach Homogenisierung/Vermischung und Verjüngung mittels Teilerkreuz erstellt (jede für sich soll die Grundmenge charakterisieren). Die Analysenproben für BTEX wurden als Einzelproben entnommen und in methanolgefüllte Probenflaschen gegeben. Für jede Mischprobe wurde ein 5-l-PE-Eimer, ein braunes 1 L-Schraubglas für die Untersuchung der organischen Parameter und zwei BTEX - Gläser (methanolüberschichtet) abgefüllt.

Probe 4 SLF < 180 mm

Die Beprobung der Schredderleichtfraktion < 180 mm (D_{95} ca. 120 mm) erfolgte am 10.05.2016 aus dem Fallstrom. In regelmäßigen Abständen (zuerst 30 Minuten, später 15 Minuten) wurden insgesamt 36 Einzelproben nacheinander mit je 25 l entnommen. Die Einzelproben wurden auf drei Haufwerke der Reihe nach verteilt. Insgesamt wurden 12 Einzelproben für jedes Haufwerk verwendet.

Von jedem Haufwerk wurde nach Homogenisierung und Verjüngung eine Laborprobe (Probenkiste) mit je 60 l erstellt. Aufgrund der Korngröße (< 180 mm) konnten vor Ort keine Gläser oder PE-Eimer befüllt werden.

3.3.2 Probenahmen Firma 2

Die Beprobung fand am 19.05.2016 auf der Anlage der Firma statt.

Probe 1 Stahlschrott

Für die Beprobung des Stahlschrottes wurden mittels Baggerschaufel in regelmäßigen Abständen aus dem Fallstrom (Verweilzeit Baggerschaufel im Fallstrom 10 sec) Teilproben entnommen (ca. alle 10 min). Es wurden drei Probenhaufwerke wegen der später besseren Beprobbarkeit angelegt. Das Gesamtvolumen betrug ca. 1 – 1,5 m^3. Von jedem Teilhaufwerk wurde eine Probenkiste mit ca. 60 l Inhalt gefüllt, so dass drei Kisten in das Labor geliefert wurden.

Probe 2 Metallmischfraktion

Die Beprobung der Metallmischfraktion nach Handklaubung erfolgte aus dem Container im Anschluss. Es wurde eine Probenkiste mit je 60 l für das Labor zusammengestellt.

Probe 3 SSF < 18 mm

Die Beprobung der Schredderschwerfraktion < 18 mm erfolgte aus dem abgelagerten Haufwerk. Hier wurden drei repräsentative Mischproben aus je 6 1 L-Einzelproben nach Homogenisierung/Vermischung und Verjüngung mittels Teilerkreuz erstellt (jede für sich soll dabei die Grundmenge charakterisieren). Die Analysenproben für BTEX wurden als Einzelproben entnommen und in methanolgefüllte Probenflaschen gegeben. Für jede Mischprobe wurde ein 5 l – PE - Eimer, ein braunes 1 l - Schraubglas für Organik und zwei BTEX-Gläser (methanolüberschichtet) abgefüllt.

Probe 4 SLF < 180 mm

Die Beprobung der Schredderleichtfraktion < 180 mm (D_{95} ca. 120 mm) erfolgte aus dem Fallstrom. In Abständen von 10 min während der Schredderkampagne wurden Einzelproben nacheinander mit je 10 l entnommen. Die Einzelproben wurden in zeitlicher Reihenfolge auf drei Haufwerke verteilt. Insgesamt wurden 12 Einzelproben für jedes Haufwerk entnommen.

Von jedem Haufwerk wurde nach Homogenisierung und Verjüngung eine Laborprobe (Probenkiste) mit je 60 l erstellt. Aufgrund der Korngröße (< 180 mm) konnten vor Ort keine Gläser oder PE-Eimer befüllt werden, nur die Teilprobe für BTEX wurde als Einzelprobe aus der Fraktion < 30 mm in mit methanolvorgelegten Gläsern eingefüllt.

3.3.3 VA-Schrott

Aus den Schredderschwerfraktionen beider Firmen wurden stichpunktartig verschiedene VA-Stahlteile entnommen (optische Identifikation durch die Probennehmer).

3.3.4 Optische Bestimmungen

Alle in den Schredderanlagen, bei Firma 1 auch der nachgeschalteten Post-Schredder-Anlage, erzeugten Fraktionen wurden fotografisch dokumentiert. Auf den erstellten Protokollblättern erfolgt eine verbale Beschreibung. Die Fotodokumentation sichert, dass auch im Nachhinein evtl. Erkenntnisse gewonnen werden können.

3.3.5 Methode der analytischen Untersuchungen

Für die RFA-Untersuchungen wurde die dafür geeignete NITON Xlt 898 eingesetzt. Die im Labor verwendeten Analysenverfahren sind in Tabelle 79 aufgeführt.

Tabelle 79: Übersicht über die verwendeten Laborverfahren

Analysenverfahren	Norm
Gesamtwassergehalt aus Feuchten	DIN 51718/CEN/TS 15414-1/-2
Glühverlust	DIN EN 15169
Quecksilber (AAS)	DIN EN ISO 12846
Metalle/Elemente in Feststoff (Nd, Sb, Be, Pb, Cd, Cr, Co, Au, Cu, Ni, Pd, Ag, Ta, Zn, Sn)	DIN EN ISO 11885
Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole (BTEX)	DIN ISO 22155
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	DIN EN 15308
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	DIN ISO 18287
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	DIN ISO 10694
Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)	DIN EN 14039
Chlor gesamt aus kalorimetrischem Bombenaufschluss	DIN EN 14582/15408/15289
Brom gesamt aus kalorimetrischem Bombenaufschluss	DIN EN 14582/CEN/TS 15408
Polybromierte Biphenylether (PBDE)	DIN EN 62321

Für die ICP-OES-Bestimmungen der Elementgehalte der SSF und der SLF wurde der Königswasser-druckaufschluss nach RAL (2017) verwendet.

3.4 Untersuchung Stahlschrott (Probe 1)

Vom Stahlschrott wurden aus jeder Schredderkampagne drei Teilproben (Probenkisten) mit je 60 l in das Labor überführt (Abbildung 28).

Abbildung 28: Beispiel für die drei Teilproben vom Stahlschrott



Bildquelle: Wessling

Abbildung 29: Messung eines Stahlteils mit mobiler RFA



Bildquelle: Wessling

Die Störstoffe jeder Teilprobe wurden separiert und verwogen. Einzelteile gleicher Zusammensetzung wurden nach optischer Einordnung durch die Probennehmer gruppiert und aus jeder Fraktion verschiedene Teile mittels tragbarer RFA (NITON Xlt 898) untersucht (siehe auch Abbildung 29).

Da die RFA-Methode an Oberflächen misst, wurde dabei sowohl an der originalen, oftmals beschichteten Oberfläche als auch an einer extra abgeschliffenen Stelle (ohne Beschichtung) gemessen. Die in den Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen enthaltenen Metalle würden eine Legierungsidentifizierung stören, da in diesem Fall die Zusammensetzung der Oberflächenbeschichtung und nicht des Kerns des Schrottteils analysiert würde. Anhand von hohen Zn- oder Pb-Gehalten erkennt man Beschichtungen. Diese Teile wurden für die erneute Messung blank geschliffen, um so auch für beschichtete Teile die Legierungen identifizieren zu können. Die RFA liefert Ergebnisse in Gew %. In der Ergebnistabelle sind die Messergebnisse der geschliffenen Proben vermerkt.

Aus jeder angelieferten Probenkiste wurde zusätzlich aus einem Stahlteil eine Bohrprobe entnommen und diese nach Königswasseraufschluss und mittels ICP-OES vermessen. Es wurden dabei zusätzlich Elemente untersucht, die nicht für die RFA für Legierungen kalibriert sind. Das sind Elemente, die bei Legierungsidentifizierungen keine Rolle spielen. Parallel dazu erfolgte zum Vergleich an derselben Stelle eine RFA-Messung.

3.4.1 Stahlschrott Firma 1

Die Gesamtmasse des untersuchten Stahlschrottes betrug 115 kg. Die Stahlteile jeder Probe wurden vermessen.

3.4.1.1 RFA-Untersuchungen Stahlschrott Firma 1

Tabelle 80 und Tabelle 81 geben einen Überblick über die vorgefundenen Materialien. Die Einteilungen in Tabelle 81 erfolgten durch RFA-Messungen und Separierung nach optischer Ähnlichkeit.

Tabelle 80: Aggregierte Zusammensetzung der Bestandteile der Probe 1 Firma 1

Bezeichnung	Masse (kg)	Anteil (%)
Gesamtmasse Original	115,3	100 %
Stahl	113,97	98,8 %
Sonstige metallische Stoffe (Aluminium, Kabel)	0,56	0,5 %
Nichtmetallische Stoffe (Gummi/Stoff)	0,80	0,7 %

Tabelle 81: Zusammensetzung der Fraktionen und Massen des Stahlschrottes (Probe 1) der Firma 1 für die drei entnommenen Teilproben (Angaben in kg)

Bezeichnung	Probe 1.1	Probe 1.2	Probe 1.3	Summe Probe 1
Blech CS	48,20	25,85	14,20	88,25
große Teile CS		4,00		4,00
Blech rot/grün/schwarz			10,55	10,55
Blech eloxiert			0,50	0,50
Guss CS		6,75		6,75
Kleinschrott		3,55	0,20	3,75
VA-Stahl	0,07			0,07
Stahllegierung 1.7357/1 1/4Cr	0,10			0,10
Aluminium	0,10			0,10
Kupfer		0,10		0,10
Kupferdraht	0,13			0,13
Messing	0,03	0,20		0,23
Gummi/Stoff	0,20	0,40	0,20	0,80
Gesamtmasse	**48,8**	**40,9**	**25,7**	**115,3**

Anmerkung: CS – Abkürzung für Kohlenstoffstahl

Es zeigte sich, dass der Fe-Metallanteil bei 98,8 % lag und der Störstoffanteil der Laborproben 1,2 %. Es wurde für die Beurteilung des Störstoffanteils als realistischer eingeschätzt, die Masse direkt vor Ort abzuschätzen. Dies erfolgte vor Ort mit > 2 % durch Fachpersonal des Schredderbetreibers und Probennehmer.

In den folgenden Tabellen (Tabelle 82 bis Tabelle 84) sind legierungsbezogene Zusammensetzungen dargestellt. In der Spalte „Legierung“ sind die zugeordneten Legierungstypen genannt, die sich aufgrund der Zusammensetzung nach DIN EN 10088-3 (Einhaltung Spannweiten) ergeben. Nichtquantifizierte Elemente in den Laborproben werden nicht aufgeführt. Zur besseren Übersichtlichkeit werden nur solche Spalten in den Tabellen aufgeführt, für deren Metalle Werte vorlagen. In der Probe 1.3 wurde in drei Fällen Ti gefunden (Blech grau, Blech schwarz und Lasche schwarz). Da es sich dabei wahrscheinlich um Farbbestandteile handelte, wurden diese Ergebnisse nicht mit in die Darstellung aufgenommen.

Tabelle 82: Mittels RFA-Messung ermittelte Legierungen/Legierungsbestandteile von Stahlschrottteilen der Probe 1.1 der Firma 1 (Angaben in %)

Probe	Masse (kg)	Legierung	Al (%)	Mo (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)
Blech, geschliffen	23,30	IRON/CS: 0.00							99,47		
Blechring	0,75	IRON/CS: 0.00							99,24	0,25	
Gussteile, Bremsscheibe	4,00	IRON/CS: *2.32							98,45	0,75	0,17
Getriebeteil 1	3,64	IRON/CS: *2.32							98,34	0,68	0,22
Getriebeteil 2	3,64	IRON/CS: *2.32							98,22	0,76	0,26
Getriebeteil 3	3,64	Kein Treffer: *4.19		0,36	0,19	0,79			96,53	0,8	0,79
Getriebeteil 4	3,64	IRON/CS: *3.36					0,69	0,32	97,51	0,51	0,2
Rohr geschliffen	0,75	IRON/CS: 0.00							99,28	0,44	
Hebel geschliffen	0,60	IRON/CS: 0.81							98,68	0,5	
Stange massiv	1,00	IRON/CS: *2.32					0,31		98,06	0,9	0,27
Gussblock Flansch	1,25	IRON/CS: 0.84					0,49		98,76	0,47	
Blech dick 1	0,60	IRON/CS: 0.00							98,89	0,82	
Blech dick 2	1,25	IRON/CS: 0.12							98,79	0,43	
Blech dünn	0,07	1.4301/05/11: 0.32		0,43		0,22		9,62	70,74	1,08	17,15
Wälzkugeln	0,05	IRON/CS: *3.92							97,4	0,36	1,47
Lamelle	0,10	IRON/CS: *3.33							97,7	0,72	1,04

Anmerkung: CS = Kohlenstoffstahl

Tabelle 83: Mittels RFA-Messung ermittelte Legierungen/Legierungsbestandteile von Stahlschrottteilen der Probe 1.2 der Firma 1 (Angaben in %)

Probe	Masse (kg)	Legierung	Al (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)
Gussbruch 1	0,61	IRON/CS: 0.10						99,4		
Gussbruch 2	0,61	IRON/CS: *2.32			0,36			98,32	0,39	0,2
Gussbruch 3	0,61	Kein Treffer: *6.50		2,05	1,16	0,7		93,56	1,15	0,56
Gussbruch 4	0,61	IRON/CS: *2.79						97,97	1,13	0,46
Gussbruch 5	0,61	1.5419/5423: *2.28						98,69	0,24	
Gussbruch 6	0,61	IRON/CS: 1.80						98,26	0,97	
Zahnräder 1	0,62	IRON/CS: 0.94				0,4		98,2	0,71	
Zahnräder 2	0,62	IRON/CS: 1.76						98,43	0,77	
Zahnräder 3	0,62	1.7225/4130/40: 1.40				0,29		97,09	0,7	1,22
Zahnräder 4	0,62	Kein Treffer: *4.66			0,66	2,56		96,2		
Zahnräder 5	0,61	IRON/CS: *3.51			0,27			97,01	1,46	0,37
Messing-Ring (Störteil)	0,3	Kein Treffer: *5.94		0,18	26,56	41,98		28,7	1,67	
Scheiben 1	0,3	IRON/CS: 0.00						99,07	0,33	
Scheiben 2	0,3	IRON/CS: 0.00						98,49	0,63	
Scheiben 3	0,3	IRON/CS: 0.07						99,19	0,26	
Scheiben 4	0,3	Kein Treffer: *5.23			8,36			90,73	0,23	
Magnet	0,004	Kein Treffer: *5.06						95,3	0,4	
Guss nicht magnetisch 1	0,07	Kein Treffer: *5.26	91,97	0,12	0,98	3,48		2,85		
Guss nicht magnetisch 2	0,07	Kein Treffer: *4.66	95,65		0,71	2,05		1,01	0,3	
Guss nicht magnetisch 3	0,06	AA1100: *2.68	97,97		0,64			1	0,22	
Lager	0,07	IRON/CS: *3.69						97,34	0,4	1,37
Federn	0,25	Kein Treffer: *5.47			0,93		2,47	91,23	0,84	3,69
Schrauben	0,6	IRON/CS: *2.27			0,75			98,43	0,51	

Probe	Masse (kg)	Legierung	Al (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)
Aufhängung	1,5	IRON/CS: 0.51			0,35			98,7		
Stange	1,3	IRON/CS: *2.71			0,27			97,81	0,75	0,47
Große Teile CS	4	IRON/CS: 0.00						99,47		
Blechteile CS	25,85	IRON/CS: 0.00						99,47		

Anmerkung: CS = Kohlenstoffstahl

Tabelle 84: Mittels RFA-Messung ermittelte Legierungen/Legierungsbestandteile von Stahlschrottteilen der Probe 1.3 der Firma 1

Bezeichnung	Masse (kg)	Legierung	Al (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)	V (%)
Blech grau (blank)	0,80	IRON/CS: *2.44			0,65				98,27	0,3		
Blech (rostige, unbeschichtete Seite)	0,65	IRON/CS: 0.53		0,45	0,47				98,18	0,3		
Blech	0,20	Kein Treffer: *4.52			4,95				94,22	0,39		
Blech grün (Kunststoff beschichtet) (blank)	0,40	IRON/CS: 0.00			0,24				99,06	0,09		
Blech grau (blank)	0,35	IRON/CS: 0.10							99,09	0,3		
Blech rot (blank)	0,40	Kein Treffer: *5.22			10,51				89,08	0,2		
Gussblock mit 2 Bolzen (Block)	1,15	Kein Treffer: *5.05	95,34	2,38	0,39	0,17			1,37	0,14		
Gussblock mit 2 Bolzen (Bolzen)		IRON/CS: 0.82							98,21	0,87		
Blech rot (blank)	0,50	IRON/CS: 0.00			0,39				98,78	0,27		
Blech Schwarz (blank)	0,30	IRON/CS: *2.23			0,66				98,79	0,28		
Blech schwarz (auf grauer Unterschicht)	0,80	Kein Treffer: *5.38			1,32				93,79	0,59		
Blech schwarz (auf grauer Unterschicht)	0,15	Kein Treffer: *5.29		0,21	78,53		0,18	0,58	19,73	0,2		
Blech blank	1,20	IRON/CS: 0.03			0,24				99,1			
Blech schwarz (blank)	0,45	IRON/CS: *3.95			1,86		0,54		97,06			

Bezeichnung	Masse (kg)	Legierung	Al (%)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Co (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)	V (%)
Blech dick (blank)	0,75	IRON/CS: *2.00			0,28			1,49	97,52			
Gussblock (Motor)	0,75	IRON/CS: 0.92			0,45		0,29		98,51			
Gussteil	0,65	Kein Treffer: *5.52			2,59				95,21		0,34	
Radaufhängung	1,90	Kein Treffer: *4.21			0,23				96,13	1	1,87	
Lasche schwarz (auf Farbe)	0,20	Kein Treffer: *4.36							96,34			1,11
Lasche eloxiert	0,15	Kein Treffer: *5.73			41,1				57,54		0,65	
Stoßdämpfer Hülse	1,85	IRON/CS: 0.87			0,49				98,66			
Stoßdämpfer Lasche		IRON/CS: *3.49		0,16	1,02				96,78	0,78		
Blech eloxiert	0,20	Kein Treffer: *5.22			9,58				89,59			

Anmerkung: CS = Kohlenstoffstahl

Die dargestellten hohen Zinkkonzentrationen bei einigen Analysen zeigen die Problematik auf, dass es bei vollverzinkten Proben nicht immer gelingt, die Oberfläche vollständig von der Beschichtung zu befreien. Möglicherweise sind auch hohe Bleiwerte auf Oberflächenblei zurückzuführen.

Die identifizierten Legierungen zeigten erwartbare Zusammensetzungen auf.

3.4.1.2 ICP-OES-Untersuchungen Stahlschrott Firma 1

Aus jeder angelieferten Probenkiste wurde zusätzlich aus einem Stahlteil eine Bohrprobe entnommen und nach Königswasseraufschluss und mittels ICP-OES vermessen. Parallel dazu erfolgte zum Vergleich an derselben Stelle eine RFA-Messung.

Abbildung 30 zeigt die untersuchten Proben.

Abbildung 30: Foto der drei untersuchten Proben des Stahlschrottes mittels RFA und ICP-OES der Firma 1



Bildquelle: Wessling

Die Ergebnisse sind in Tabelle 85 aufgeführt. In der Spalte „Legierung“ sind die zugeordneten Legierungstypen genannt, die sich aufgrund der Zusammensetzung nach DIN EN 10088-3 (Einhaltung Spannweiten) ergeben.

Tabelle 85: Legierungsidentifizierung der Proben für Paralleluntersuchung RFA-ICP der Firma 1 (Angaben in %)

Probe	Legierung	Mo	Fe	Mn	Cr
1-1 Blech geschliffen	IRON/CS: 0.19		99,07		
1-2 Bremsscheibe geschliffen	IRON/CS: *2.32	0,05	98,12	0,99	0,25
1-3 Lamelle geschliffen	IRON/CS: *3.34		97,74	0,72	0,93

Tabelle 86 stellt die Ergebnisse der Messung mittels ICP-OES am Stahlschrott der Firma 1 im Überblick dar.

Tabelle 86: Ergebnisse der Messung mittels ICP-OES am Stahlschrott der Firma 1 (Angaben in mg/kg)

Probenbezeichnung	Probe 1 Stahlschrott Firma 1 Probe 1-1 Blech geschliffen	Probe 1 Stahlschrott Firma 1 Probe 1-2 Bremsscheibe geschliffen	Probe 1 Stahlschrott Firma 1 Probe 1-3 Lamelle geschliffen
Ag	< 1,2	< 1,5	< 1,7
Al	520	< 13	< 140
Au	< 10	< 10	< 10
Co	28	49	64
Cr	240	2.700	10.000
Cu	280	1.300	440
Mn	1.300	11.000	9.700
Nd	59	44	51
Ni	150	130	290
Pb	< 34	< 22	< 26
Pd	< 10	< 10	< 10
Sn	47	15	100
Ta	< 10	< 10	< 10
Zn	760	11	270

Auffällig ist, dass bei den Analysen bei allen 3 Proben Nd-Konzentrationen zwischen 44 mg/kg und 59 mg/kg festgestellt wurden. Hierbei wird es sich vermutlich um (magnetische) Anhaftungen handeln, da die Teile zwar magnetisch sind, aber in der Nutzungsphase keine magnetische Funktion aufweisen.

In Tabelle 87 und Tabelle 88 werden die Ergebnisse der RFA-Analyse mit den ICP-OES-Ergebnissen für die Elemente Cr und Mn dargestellt.

Tabelle 87: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Chrom (Firma 1) (Angaben in %)

Chrom (Cr)	Blech geschliffen	Bremsscheibe geschliffen	Lamelle geschliffen
ICP-Messung	0,024	0,27	1
RFA-Messung	n. n.	0,25	0,93

Tabelle 88: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Mangan (Firma 1) (Angaben in %)

Mangan (Mn)	Blech geschliffen	Bremsscheibe geschliffen	Lamelle geschliffen
ICP-Messung	0,13	1,1	0,97
RFA-Messung	n. n.	0,99	0,72

Es zeigen sich in drei Fällen Unterschiede ≤ 10 % und in einem Fall > 25 %. Bei der Beurteilung dieser Unterschiede muss berücksichtigt werden, dass die ICP-Messungen im Spurenbereich geeigneter sind und die RFA-Messungen im %-Bereich. Für Messungen bei sehr hohen Konzentrationen (im 100 %-Bereich) ist zu bemerken, dass sie analytisch problematisch sind, weil nur wenige Prozent Messunsicherheit größere Diskrepanzen bewirken. In derartigen Fällen kann man eine höhere Präzision erhal-

ten, indem alle Spurenelemente (mit geringer Messunsicherheit) bestimmt werden und sich die interessierende hohe Konzentration durch Differenzbildung zu 100 % ergibt. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zudem zu berücksichtigen, dass die RFA im Spurenbereich n. n. ausweist, wenn die Gehalte nicht vom Rauschen zu unterscheiden sind. Die RFA kann nur ab Bestimmungsgrenze quantifizieren und die durch die ICP-Messung gefundenen Werte von bis zu 0,13 lagen unterhalb. Insofern sind die Ergebnisse plausibel.

3.4.1.3 Sonderuntersuchung des an den Stahlteilen anhaftenden Staubes

Bei der Stahlfraktion ist davon auszugehen, dass sich die zu analysierenden Edel- und Sondermetalle sowie weiteren Nichteisen-Metalle, wenn man von den enthaltenen Legierungselementen absieht, überwiegend in äußeren (Staub) Anhaftungen befinden. Um Aussagen über die Zusammensetzung der Anhaftungen an der Fe-Fraktion zu erhalten, wurden alle Teile der Proben 1.3 (Firma 1) mit 1 %iger HNO_3 mittels Pinsel (mechanisch) abgewaschen.

Im Vergleich zu der in Widmer et al. (2015) beschriebenen Untersuchung, bei der 2,5 kg Probenmasse untersucht wurden, konnte dadurch eine viel größere Masse untersucht werden (25 kg). Die in Widmer et al. (2015) verwendete Ultraschallbehandlung diente zur Ablösung der oberflächlich anhaftenden Bestandteile, was in diesem Forschungsvorhaben durch die mechanische Abreinigung durch einen Pinsel erreicht wurde.

Die gesamte Waschlösung (7,5 l) wurde filtriert und der Filterrückstand nach Aufschluss mit Königswasser mittels ICP-OES-screening auf seine Elementzusammensetzung untersucht. Die Gesamtmasse aller Stahlteile betrug 25 kg. Das auf dem Filter zurückgehaltene Material (4,5 g) weist u. a. deutliche Anteile von Schredderleichtfraktionen auf (Abbildung 31 und Abbildung 32).

Abbildung 31: Filterrückstand der Abwaschlösung mit den Anhaftungen an den Stahlteilen der Probe 1.3



Bildquelle: Wessling

Abbildung 32: Vergrößerung des Filterrückstandes der Abwaschlösung mit den Anhaftungen an den Stahlteilen der Probe 1.3



Bildquelle: Wessling

Die Ergebnisse zu den Inhaltsstoffen des Filterrückstandes der HNO_3-Abwaschung sind in Tabelle 89 dargestellt.

Tabelle 89: Elementzusammensetzung der Anhaftungen am Stahlschrott Probe 1.1 (Angaben in mg/kg)

Element	Konzentration Elemente im Filterrückstand	Konzentration Elemente in Fe-Fraktion (als Anhaftungen)
Ag	45	0,008
Al	8.400	1,471
As	28	0,005
Au	< 10	
B	140	0,025
Ba	3.600	0,630
Bi	170	0,030
Ca	7.900	1,383
Cd	11	0,002
Ce	15	0,003
Co	60	0,011
Cr	920	0,161
Cu	2.200	0,385
Fe	436.000	76,342
Ga	32	0,006
Ge	12	0,002
Hf	21	0,004

Element	Konzentration Elemente im Filterrückstand	Konzentration Elemente in Fe-Fraktion (als Anhaftungen)
Hg	14	0,002
In	110	0,019
K	990	0,173
La	93	0,016
Li	14	0,002
Mg	1.600	0,280
Mn	6.700	1,173
Mo	200	0,035
Na	760	0,133
Nb	13	0,002
Nd	71	0,012
Ni	370	0,065
P	2.700	0,473
Pb	2.900	0,508
Pd	< 10	
Pr	38	0,007
Ru	99	0,017
S	1.500	0,263
Sb	88	0,015
Si	97	0,017
Sn	2.900	0,508
Sr	6.000	1,051
Ta	< 10	
Ti	430	0,075
V	36	0,006
W	20	0,004
Y	25	0,004
Zn	6.900	1,208
Zr	18	0,003

Von den Edelmetallen lässt sich der Gehalt von Silber (Ag) (45 mg/kg) auswerten. Die Gehalte von Gold (Au) und Palladium (Pd) liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Weiterhin wurden als kritische Rohstoffe (EU 2017) Cer (Ce), Lanthan (La), Gallium (Ga), Indium (In), Niob (Nb), Neodym (Nd), Praseodym (Pr) und Yttrium (Y) identifiziert.

3.4.2 Stahlschrott der Firma 2

Insgesamt wurden 111 kg des Stahlschrottes der Firma 2 in drei Kisten als Laborprobe zur Verfügung gestellt. Die Stahlteile jeder Kiste wurden gemessen, wobei Einzelteile gleicher Zusammensetzung gruppiert und aus jeder Fraktion stellvertretend verschiedene Teile mittels tragbarer RFA (NITON Xlt 898) vermessen wurden. Die Gleichartigkeit der Zusammensetzung lässt sich nach mehreren RFA-Messungen bereits optisch erkennen.

3.4.2.1 RFA-Untersuchungen Stahlschrott Firma 2

Abbildung 33 zeigt ein Foto der untersuchten Teile der Fraktion „Stahlschrott“. Tabelle 90 fasst die Ergebnisse über die vorgefundenen Fraktionen und die Störstoffe zusammen. Die Tabelle 91 stellt die Ergebnisse differenzierter dar.

Abbildung 33: Stahlschrott Firma 2



Bildquelle: Wessling

In Tabelle 90 und Tabelle 91 sind die in den einzelnen Laborproben ermittelten Fraktionen aufgeführt.

Tabelle 90: Zusammenfassung Bestandteile der Probe 1 Firma 2

Bezeichnung	Masse (kg)	Anteil (%)
Gesamtmasse Original:	110,6	100,0 %
Stahl	109,20	98,7 %
Sonstige metallische Stoffe (Aluminium, Kabel)	0,67	0,6 %
Nichtmetallische Stoffe (Gummi/Stoff)	0,55	0,5 %

Tabelle 91: Fraktionen und Massen des Stahlschrottes der Firma 2 (Angaben in kg)

Bezeichnung	Probe 1.1	Probe 1.2	Probe 1.3	Probe 1
Karosserieblech + andere Teile	27,45	40,45	41,30	109,20
Al	0,30			0,30
Kabel/Platine	0,05	0,02	0,30	0,37
Sonstiges (Dreck/Mineralik)	0,10	0,10	0,02	0,22
Gummi/Stoff	0,10	0,45		0,55
Gesamtmasse	28,0	41,0	41,6	110,6

Auch bei Firma 2 ergab sich, dass der Störstoffanteil entsprechend den Laboranalysen (1,1 %) deutlich geringer war, als der von mehreren Personen (Fachpersonal der Anlage, Probennehmer) vor Ort geschätzte (> 2 %).

In der Kiste der Probe 1.3 der Firma 1 dominierten Karosseriebleche. Es wurden aufgrund gewonnener Erfahrung stets nur Stellvertreter untersucht. Zusätzlich wurden hier aufgrund der Massenrelevanz in der Probe auch ein Aluminium- und ein Kupferteil untersucht (Motorhalterung, Kupferhülse).Tabelle 93 und In der Kiste der Probe 1.3 der Firma 1 dominierten Karosseriebleche. Es wurden aufgrund gewonnener Erfahrung stets nur Stellvertreter untersucht. Zusätzlich wurden hier aufgrund der Massenrelevanz in der Probe auch ein Aluminium- und ein Kupferteil untersucht (Motorhalterung, Kupferhülse).

Tabelle 94 geben die Ergebnisse der Analysen mit Blick auf vorhandene Legierungsbestandteile wieder. In der Spalte „Legierung“ sind die zugeordneten Legierungstypen genannt, die sich aufgrund der Zusammensetzung nach DIN EN 10088-3 (Einhaltung Spannweiten) ergeben. Es werden auch für die Firma 2 nur solche Metalle aufgeführt, für die Quantifizierungen vorlagen. Im Falle des beschichteten Rings wurde eine Ti-Konzentration von 1,38 % festgestellt. Da davon ausgegangen werden kann, dass es sich hierbei um Farbreste handelte, wird dies in den Legierungstabellen nicht dargestellt.

Tabelle 92: Übersicht der mittels RFA-Messung ermittelten Legierungen an Stahlschrottteilen der Probe 1.1 der Firma 2

Probe	Masse in kg	Legierung	Zn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)
Karosserieblech, geschliffen	6,00	Kein Treffer: *5.22	6,49			92,64		
Karosserieblech	5,50	IRON/CS: *3.09	0,66			97,86		
Karosserieblech, geschliffen	2,50	Kein Treffer: *5.02	6,36			93,01		
Zahnrad	0,40	IRON/CS: *2.31	0,35			98,45	0,45	0,22
Lenkstange	1,05	IRON/CS: *2.64	0,49			97,97	0,72	0,23
Stange mit Aluminiumguss	0,25	IRON/CS: 0.16				98,62	0,55	
Achse	1,80	IRON/CS: *2.71	0,5	0,75		98,04	0,34	
Rohrende mit Flansch	2,05	IRON/CS: *3.25	1,45			97,48	0,46	
Blechzeug	7,10	Kein Treffer: *4.83	0,37	0,9	1,46	94,86	0,79	1,02
Hebel	0,65	Kein Treffer: *4.60	1,02			97,24	0,78	0,65

Probe	Masse in kg	Legierung	Zn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)
Ring, beschichtet	0,25	Kein Treffer: *5.69	60,72			36,65	0,41	

Tabelle 93: Übersicht der mittels RFA-Messung ermittelten Legierungen an Stahlschrottteilen der Probe 1.2 der Firma 2

Probe	Masse (kg)	Legierung	Zn (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)
Karosserieblech	17,8	IRON/CS: *2.27	0,7		98,37	0,54	
Spiralfeder, beschichtet	0,5	Kein Treffer: *5.22	64,45		34,57		
Radmutterschlüssel	0,3	Kein Treffer: *5.38	7,67		90,8	0,58	0,27
Gussstück	0,3	IRON/CS: *2.32	0,27		98,71	0,69	0,19
Fensterheber	8,3	IRON/CS: *3.13	0,79		97,54		
Karosserieblech	7,3	IRON/CS: 0.89	0,49		98,73	0,37	
Blech dick	1,9	IRON/CS: *3.70	0,61	0,36	97,39	0,75	0,16
Achse	1,2	IRON/CS: *3.01	0,51		97,44	1,47	0,17
Achsstummel	1,2	Kein Treffer: *4.90	1,45	1,88	96,12		
Zahnräder	1,45	Kein Treffer: *5.70	5,95		91,15	0,59	
Gussstück	0,2	IRON/CS: 0.32	0,4		97,76	1,39	

In der Kiste der Probe 1.3 der Firma 1 dominierten Karosseriebleche. Es wurden aufgrund gewonnener Erfahrung stets nur Stellvertreter untersucht. Zusätzlich wurden hier aufgrund der Massenrelevanz in der Probe auch ein Aluminium- und ein Kupferteil untersucht (Motorhalterung, Kupferhülse).

Tabelle 94: Übersicht der mittels RFA-Messung ermittelten Legierungen an Stahlschrottteilen der Probe 1.3 der Firma 2

Probe	Masse (kg)	Legierung	Al (%)	Zn (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)
Karosserieblech	17,7	IRON/CS: 0.38		0,46		98,98	
Motorhalterung	0,7	AA1100: *3.32	97,67			1,62	0,39
Zahnscheibe geschliffen	0,3	Kein Treffer: *5.22		27,79		71,6	0,25
Kupfer-Hülse	0,3	Elec CU 110: *3.60			95,78	3,87	
Karosserieblech	22,6	IRON/CS: *3.73		1,58		96,46	1,15

In einigen Fällen war ein Abschleifen des jeweiligen Teiles nicht möglich. Die dargestellten hohen Zinkkonzentrationen bei einigen Analysen zeigen die Problematik auf, dass es bei vollverzinkten Proben nicht immer gelingt, die Oberfläche vollständig von der Beschichtung zu befreien.

Die identifizierten Legierungen zeigten erwartbare Zusammensetzungen auf.

3.4.2.2 ICP-OES-Untersuchungen Stahlschrott der Firma 2

An drei Stahlteilen (Abbildung 34) wurde nach Messung mittels RFA zusätzlich eine Bohrspanprobe entnommen und mittels ICP-OES untersucht. Die Ergebnisse der ICP-Messungen sind in Tabelle 95 dargestellt.

Abbildung 34: Abbildung der drei untersuchten Proben des Stahlschrottes mittels RFA und ICP-OES der Firma 2



Bildquelle: Wessling

Das in Abbildung 34 rechts oben dargestellte Teilstück wurde hier nicht untersucht. In Tabelle 95 sind auch in der Probenbezeichnung die Kisten aufgeführt, aus denen die Teile entnommen wurden.

Tabelle 95: Ergebnisse der ICP-OES Messungen am Stahlschrott der Firma 2 (Angaben in mg/kg)

Element	Probe 1 Stahlschrott Firma 2 Probe 1-1 Hebel geschliffen	Probe 1 Stahlschrott Firma 2 Probe 1-2 Gussteil geschliffen	Probe 1 Stahlschrott Firma 2 Probe 1-3 Blech-teil
Ag	2,4	< 1,8	< 1,0
Al	< 87	< 11	< 85
Au	< 10	< 10	< 10
Co	140	47	40
Cr	12.000	4.700	200
Cu	2.400	720	130
Mn	8.000	10.000	3.000
Nd	42	41	44

Element	Probe 1 Stahlschrott Firma 2 Probe 1-1 Hebel geschliffen	Probe 1 Stahlschrott Firma 2 Probe 1-2 Gussteil geschliffen	Probe 1 Stahlschrott Firma 2 Probe 1-3 Blech-teil
Ni	2.400	360	140
Pb	< 26	< 21	< 21
Pd	< 10	< 10	< 10
Sn	120	390	8,8
Ta	< 12	< 10	< 10
Zn	180	< 27	53

Auffällig ist auch hier wie schon bei Firma 1, dass die Analysen bei allen 3 Proben Nd-Konzentrationen zwischen 41 mg/kg und 44 mg/kg festgestellt haben. Hierbei wird es sich auch bei diesen Analysen vermutlich um Anhaftungen handeln, da die Teile selbst keine magnetische Funktion aufweisen.

Die Ergebnisse der Vergleichsmessungen mittels ICP und RFA werden für die Elemente Chrom und Mangan in Tabelle 96 und Tabelle 97 aufgeführt.

Tabelle 96: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Chrom bei Stahlschrotten der Firma 2 (Angaben in %)

Chrom (Cr)	Hebel geschliffen	Gussteil geschliffen	Blechteil
ICP-Messung	1,2	0,47	0,02
RFA-Messung	1,03	0,68	n.n

Tabelle 97: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Mangan bei Stahlschrotten der Firma 2 (Angaben in %)

Mangan (Mn)	Hebel geschliffen	Gussteil geschliffen	Blechteil
ICP-Messung	0,8	1	0,3
RFA-Messung	0,8	0,35	0,24

Es zeigen sich Differenzen zwischen 0 % und 65 %. Ursache der größeren Differenzen könnte eine Oberflächenstörung sein. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die RFA im Spurenbereich n. n. ausweist, wenn die Gehalte nicht vom Rauschen zu unterscheiden sind. Die RFA kann nur ab Bestimmungsgrenze quantifizieren und die durch die ICP-Messung gefundenen Werte von 0,02 lag unterhalb. Insofern sind die Ergebnisse plausibel.

3.4.3 Fazit der Untersuchung des Stahlschrotts

Es zeigte sich, dass die Gehalte an Störstoffen in den untersuchten Proben beider Firmen mit < 1,5 % gering waren. Die Unterschiede in den Zusammensetzungen in Bezug auf die nicht-Stahl-Bestandteile waren mit 0,1 % bzw. 0,2 % gering. Die Vor-Ort-Sichtprobe durch Betreiber und Probenehmer ergab jedoch die Einschätzung, dass die Gehalte an nicht-Fe-Bestandteilen über 2 % lagen.

Die Legierungsuntersuchungen zeigten erwartbare Gehalte an Legierungsbestandteilen auf, die mit dem Stahl in die Verwertung eingebracht werden (siehe dazu Kapitel 5).

Die Sonderuntersuchung der Anhaftungen der Stahlfraktion zeigte, dass Gold wenn überhaupt dann unter der Nachweisgrenze enthalten war. Es wurden unter anderem Gehalte an Silber und Neodym sowie Praseodym festgestellt (siehe dazu Kapitel 5).

3.4.4 Einschätzung der Schrotte in Bezug auf Abfallendeeigenschaften

Die Verordnung 333/2011[11] legt Kriterien fest, wann bestimmte Arten von Schrott gemäß der Richtlinie 2008/98/EG nicht mehr als Abfall anzusehen sind. Die Kriterien sollen sicherstellen, „dass Eisen-, Stahl- und Aluminiumschrott aus einem Verwertungsverfahren die technischen Anforderungen der metallerzeugenden Industrie erfüllt, den geltenden Rechtsvorschriften und Normen für Erzeugnisse genügt und insgesamt nicht zu schädlichen Umwelt- oder Gesundheitsfolgen führt“ (Erwägungsgrund 3 der Verordnung 333/2011). Die im Folgenden dargestellte Bewertung befasst sich nicht mit den Anforderungen des Artikel 3, Punkte

a) der dem Verwertungsverfahren zugeführte Abfall erfüllt die Kriterien in Anhang I Abschnitt 2;
b) der dem Verwertungsverfahren zugeführte Abfall wurde in Einklang mit den Kriterien in Anhang I Abschnitt 3 behandelt;
c) der bei dem Verwertungsverfahren gewonnene Eisen- und Stahlschrott genügt den Kriterien in Anhang I Abschnitt 1;
d) der Erzeuger genügt den Anforderungen in den Artikeln 5 und 6,

sondern bezieht nur die Kriterien des Abschnitts 1 des Anhangs 1 der Verordnung ein. Erhebungen zu den Anforderungen an die Selbstüberwachung waren nicht Gegenstand des Projektes.

Tabelle 98: Einordnung der Fe-Schrotte der Firmen 1 und 2 anhand der Kriterien zum Ende der Abfalleigenschaft nach Verordnung 333/2011

Kriterien	Einordnung der untersuchten Schrotte
Der Schrott wird entsprechend einer Kundenvorgabe, einer Vorgabe der Industrie oder einer Norm für die Direktverwendung bei der Produktion von Metallen oder Metallgegenständen in Stahlwerken oder Gießereien sortiert.	Das Kriterium wird für die Schrotte beider Firmen erfüllt (Vorgaben der Stahlindustrie).
1.2. Der Gesamtanteil von Fremdstoffen (Schutt) beträgt höchstens 2 Gewichtshundertteile. Fremdstoffe sind 1. Nichteisenmetalle (außer Legierungsbestandteilen in Eisenmetallsubstraten) und nichtmetallische Stoffe wie Erde, Staub, Isolierungen und Glas; 2. brennbare nichtmetallische Stoffe wie Gummi, Kunststoff, Gewebe, Holz und andere chemische oder organische Substanzen; 3. größere Teile (Ziegelsteingröße), die nicht elektrizitätsleitend sind, wie Reifen, mit Zement gefüllte Rohre, Holz oder Beton; 4. Rückstände aus der Stahlschmelze, aus dem Erhitzen, dem Zurichten (einschließlich Flammstrahlen), dem Schleifen, Sägen, Schweißen und Brennschneiden, wie Schlacke, Walzzunder, Filterstaub, Schleifstaub und Schlamm.	Das Kriterium wird für die Schrotte beider Firmen erfüllt, wenn die Ergebnisse der Sortieranalyse zugrunde gelegt werden. Der Grenzwert wird überschritten, wenn die Ergebnisse der Sichtprüfung vor Ort durch Betreiber und Probenehmer zugrunde gelegt werden.

[11] Verordnung (EU) Nr. 333/2011 des Rates vom 31. März 2011 mit Kriterien zur Festlegung, wann bestimmte Arten von Schrott gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates nicht mehr als Abfall anzusehen sind.

Kriterien	Einordnung der untersuchten Schrotte
1.3. Schrott muss frei sein von übermäßigem Eisenoxid in jeglicher Form, mit Ausnahme typischer Mengen, die durch Außenlagerung von aufbereitetem Schrott unter normalen atmosphärischen Bedingungen entsteht.	Das Kriterium wird für die Schrotte beider Firmen erfüllt.
1.4. Schrott muss frei sein von sichtbarem Öl, Ölemulsionen, Schmiermitteln oder Fett, ausgenommen unbedeutende Mengen, die nicht auslaufen.	Das Kriterium wird für die Schrotte beider Firmen erfüllt.
1.5. Radioaktivität: Nach einzelstaatlichen oder internationalen Vorschriften für die Überwachungs- und Reaktionsverfahren für radioaktiven Schrott besteht keine Notwendigkeit für Reaktionsmaßnahmen. Diese Vorschrift gilt unbeschadet der im Rahmen von Kapitel III des Euratom-Vertrags erlassenen Rechtsakte mit grundlegenden Normen zum Schutz der Gesundheit von Arbeitskräften und der Bevölkerung, insbesondere der Richtlinie 96/29/Euratom.	Eine Radioaktivitätsprüfung erfolgt nicht. Nach Aussage der Betreiber erfolgen Radioaktivitätsprüfungen jedoch in jedem Fall für jede eingehende und ausgehende Charge.
1.6. Der Schrott weist keine der in Anhang III der Richtlinie 2008/98/EG aufgeführten gefahrenrelevanten Eigenschaften auf. Der Schrott steht mit den in der Entscheidung 2000/532/EG (2) festgelegten Konzentrationsgrenzen in Einklang und überschreitet nicht die in Anhang IV der Verordnung (EG) Nr. 850/2004 (3) festgelegten Konzentrationsgrenzen. Die Eigenschaften einzelner Elemente von Eisen- und Stahllegierungen sind für diese Anforderung nicht von Belang.	Eine Überprüfung aller Kriterien des Anhang III der Richtlinie 2008/98/EG erfolgte im Projekt nicht. Die Einstufung des Schrottes erfolgt nach Aussage der Betreiber immer als nicht-gefährlicher Abfall.
1.7. Der Schrott ist frei von unter Druck stehenden, geschlossenen oder unzureichend geöffneten Behältern, die in einem Ofen zur Metallgewinnung Explosionen verursachen können.	Das Kriterium wird für die Schrotte beider Firmen erfüllt, da es sich um Schredderschrott handelt und das Behandlungsverfahren solche Bestandteile im Output üblicherweise ausschließt.

Es zeigt sich, dass die Schrotte die Abfallendekriterien in Bezug auf die untersuchten Parameter erfüllen. Der in der Sortieranalyse festgestellte Anteil der Fremdstoffe wird jedoch vom Personal der Betreiber und den Probenehmern als unrealistisch niedrig eingeschätzt und die Vor-Ort-Sichtprobe ergab Werte über 2 % Fremdstoffanteil. Dadurch wären die Abfallendeeigenschaften nicht gegeben.

3.5 Untersuchung Metallmischfraktion (Probe 2)

Die Metallmischfraktion wurde bei beiden Firmen unmittelbar nach dem Schredder (siehe Abbildung 27) händisch entnommen. Sie stört zum einen die weitere Aufbereitung in die SLF- und SSF-Fraktion und kann zum anderen separat verwertet werden.

Die angelieferten Laborproben bestanden zu wesentlichen Teilen aus Verbundteilen (NE, Fe, Gummi, Kunststoffe). Es wurde eine händische Separierung und Verwiegung der einzelnen Fraktionen vorgenommen.

3.5.1 Metallmischfraktion der Firma 1

3.5.1.1 Fraktionierung Metallmischfraktion Firma 1

Tabelle 99 zeigt die Zusammensetzung der Metallmischfraktion nach Handklaubung der Firma 1.

Tabelle 99: Stoffanteile der Metallmischfraktion nach Handklaubung der Firma 1

Bezeichnung	Masse in kg	Anteil Cu	Cu-Anteil (kg)
Gesamtgewicht	35,65	21 %	7,48
Fraktion Stahlschrott	9,55	0 %	0
Fraktion Cu + Stahl	21,7	27 %	5,859
Fraktion Cu + Kabel, Gummi, Textilien	3,2	50 %	1,6
Leiterplattenteile	1,2	2 %	0,024

Hieraus ergeben sich die in Tabelle 100 aggregiert dargestellten Bestandteile der Metallmischfraktion bei der Firma 1.

Tabelle 100: Bestandteile der Metallmischfraktion (Firma 1)

Bestandteile	Anteil	Masse (kg)
Kupfer	21 %	7,48
Stahl	71 %	25,4
Gummi/Kabel/Reste	8 %	2,8

In Abbildung 35, Bildquelle: Wessling
Abbildung 36 und Bildquelle: Wessling

Abbildung 37 sind die Fraktionen aus der Metallmischfraktion als Fotos wiedergegeben.

Abbildung 35: Fraktion Stahlschrott aus der Metallmischfraktion der Firma 1



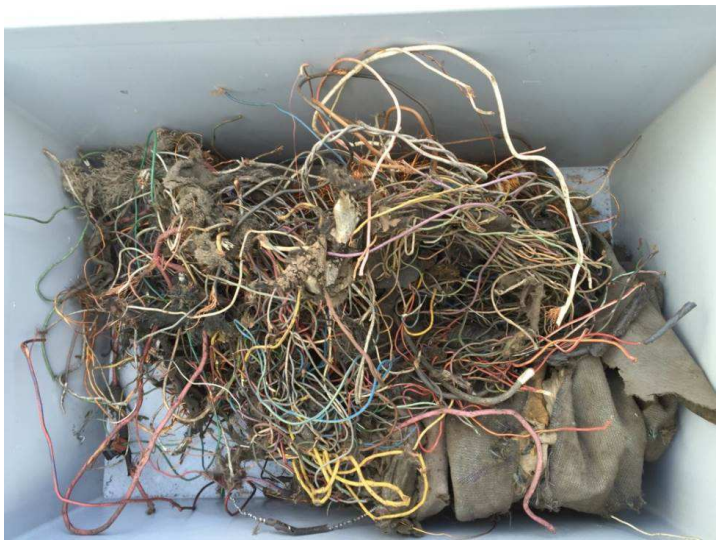
Bildquelle: Wessling

Abbildung 36: Fraktion Kupfer und Stahl aus der Metallmischfraktion der Firma 1



Bildquelle: Wessling

Abbildung 37: Fraktion Kupferkabel/Gummi/Textilien aus der Metallmischfraktion der Firma 1



Bildquelle: Wessling

Ein Beispiel für in den Stahlteilen enthaltene Leiterplatten ist in Abbildung 38 abgebildet. Der Anteil der Leiterplatten in der Probe entspricht 3,4 % der Gesamtmasse. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Leiterplatten auch Gehäuseteile oder andere Stahl-/Aluminiumteile aufweisen können.

Abbildung 38: Leiterplatte aus der Metallmischfraktion der Firma 1



Bildquelle: Wessling

3.5.1.2 ICP-OES-Untersuchungen und RFA-Untersuchungen der Metallmischfraktion Firma 1

An zwei für die Metallmischfraktion typischen Teilen wurde nach Messung mittels RFA an der Bohrstelle zusätzlich eine Spanprobe entnommen und mittels ICP-OES untersucht (siehe auch Abbildung 39). Die Ergebnisse zur Legierungsidentifizierung sind in Tabelle 101 dargestellt. In der Spalte „Legierung“ sind die zugeordneten Legierungstypen genannt, die sich aufgrund der Zusammensetzung nach DIN EN 10088-3 (Einhaltung Spannweiten) ergeben. Die differenzierte Zusammensetzung ist in Tabelle 102 dargestellt.

Tabelle 101: Legierungsidentifizierung zweier Proben aus der Metallmischfraktion (Angaben in %)

Bezeichnung	Legierung	Zn	Cu	Fe	Mn
Stange (Stahlteil)	IRON/CS: 0.91			97,98	1,16
Stange (Kupferteil)	Elec CU 110: *3.60		96,5	3,14	

Abbildung 39: Foto des untersuchten Teils (Stange ausgewählt)



Bildquelle: Wessling

Die Stange selbst besteht aus Stahl und das umliegende Kupferteil ist die Legierung Elec CU 110.

Tabelle 102: Ergebnisse der ICP-OES Messung zweier Teile aus der Metallmischfraktion der Firma 1 (Angaben in mg/kg)

Parameter	Stange (Stahlteil) (IRON/CS)	Stange (Kupferteil) (Elec Cu 110)
Ag	< 1,5	8,8
Al	36	96.000
Au	24	< 10
Co	23	3,1
Cr	190	19
Cu	1.100	901.000
Mn	16.000	180
Nd	52	< 10
Ni	140	1.700
Pb	2.100	240
Pd	< 10	260
Sn	14	20
T	< 10	< 10
Zn	< 19	230

Auch hier wurde in der Probe des Stahlteils Nd in vergleichbarer Größenordnung wie in den Fraktionen „Stahlschrott“ der Firmen 1 und 2 gefunden. Die Analyse des Kupferteils (Kupfer, legiert mit Eisen) zeigte keine Nd-Anteile oberhalb der Nachweisgrenze. Dies kann als Indiz gesehen werden, dass es sich bei dem Nd um Anhaftungen an magnetischen Fe-Teilen handelt.

Gold ist in der Analyse der Stahlstange gefunden worden, Silber in der des Kupferteils, in dem auch eine vergleichsweise hohe Pd-Konzentration gefunden wurde.

Tabelle 103, Tabelle 104 und Tabelle 105 zeigen Vergleich der Ergebnisse der RFA- und der ICP-OES-Messungen.

Tabelle 103: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Chrom in der Metallmischfraktion der Firma 1 (Angaben in %)

Messung	Stange (Stahlteil)	Stange (Kupferteil)
ICP-Messung	0,019	0,0019
RFA-Messung	n. n.	n. n.

Tabelle 104: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Kupfer in der Metallmischfraktion der Firma 1 (Angaben in %)

Messung	Stange (Stahlteil)	Stange (Kupferteil)
ICP-Messung	0,11	100
RFA-Messung	n. n.	96

Tabelle 105: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Mangan in Gew % in Metallmischfraktion (Firma 1)

Messung	Stange (Stahlteil)	Stange (Kupferteil)
ICP-Messung	1,6	0,018
RFA-Messung	1,2	n. n.

Der Vergleich zeigt gute übereinstimmende Ergebnisse, für das Kupferteil für Kupfer und einen deutlichen Unterschied für Mangan. Bei der Beurteilung dieser Unterschiede muss berücksichtigt werden, dass die ICP-Messungen im Spurenbereich geeigneter sind und die RFA-Messungen im %-Bereich. Für Messungen bei sehr hohen Konzentrationen (im 100-%-Bereich) ist zu bemerken, dass sie analytisch problematisch sind, weil nur wenige Prozent Messunsicherheit größere Diskrepanzen bewirken. In derartigen Fällen kann man eine höhere Präzision erhalten, indem alle Spurenelemente (mit geringer Messunsicherheit) bestimmt werden und sich die interessierende hohe Konzentration durch Differenzbildung zu 100 % ergibt. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist auch zu berücksichtigen, dass die RFA im Spurenbereich n. n. ausweist, wenn die Gehalte nicht vom Rauschen zu unterscheiden sind. Die RFA kann nur ab Bestimmungsgrenze quantifizieren und die durch die ICP-Messung gefundenen Werte von bis zu 0,11 lagen unterhalb. Insofern sind die Ergebnisse plausibel.

3.5.2 Metallmischfraktion der Firma 2

3.5.2.1 Fraktionierung Metallmischfraktion Firma 2

Die angelieferte Laborprobe besteht aus Verbundteilen mit Kupfer, Eisen/Stahl, Kabel, Gummi und Kunststoffe. Teile von Textilien waren auch als Verbund enthalten (siehe Tabelle 106). Die Laborproben wurde in drei Teilfraktionen nachsortiert (Abbildung 40 bis Bildquelle: Wessling

Abbildung 42).

Tabelle 106: Stoffanteile der Metallmischfraktion nach Handklaubung der Firma 2

Bezeichnung	Masse (kg)	Anteil Cu	Cu-Anteil (kg)
Gesamtgewicht	39,55	37 %	14,82
Fraktion Stahlschrott	5,75	0 %	0
Fraktion Cu + Stahl	27,3	40 %	10,92
Fraktion Cu + Kabel, Gummi, Textilien	6,5	60 %	3,9

Hieraus ergeben sich die in Tabelle 107 aggregiert dargestellten Bestandteile der Metallmischfraktion bei der Firma 2.

Tabelle 107: Bestandteile der Metallmischfraktion der Firma 2

Bestandteile	Anteil	Masse (kg)
Kupfer	37 %	14,82
Stahl	56 %	22,15
Gummi/Kabel/Reste	7 %	2,6

In Abbildung 40, Bildquelle: Wessling
Abbildung 41 und Bildquelle: Wessling

Abbildung 42 sind die Fraktionen aus der Metallmischfraktion als Fotos wiedergegeben. Die Teilfraktion Kupfer enthält sehr viele ähnliche Motoranker.

Abbildung 40: Stahlfraktion aus der Metallmischfraktion der Firma 2



Bildquelle: Wessling

Abbildung 41: Kupferfraktion aus der Metallmischfraktion der Firma 2



Bildquelle: Wessling

Abbildung 42: Fraktion Gummi/Kabel/Reste aus der Metallmischfraktion Firma 2



Bildquelle: Wessling

Ein vergleichbar hoher Anteil von Leiterplattenteilen wie bei Firma 1 wurde bei Firma 2 nicht gefunden.

3.5.2.2 ICP-OES-Untersuchungen und RFA-Untersuchungen der Metallmischfraktion Firma 2

An zwei Teilen, entnommen aus den in Abbildung 43 links oben abgebildeten Ring, wurde nach Messung mittels RFA zusätzlich eine Bohrspanprobe entnommen und mittels ICP-OES untersucht. Die Ergebnisse sind in Bildquelle: Wessling

Tabelle 108 zur Legierungsidentifikation dargestellt. In der Spalte „Legierung“ sind die zugeordneten Legierungstypen genannt, die sich aufgrund der Zusammensetzung nach DIN EN 10088-3 (Einhaltung Spannweiten) ergeben. In Tabelle 109 sind differenziert die Bestandteile dargestellt. Es geht vor allem darum, Aussagen zu den mittels der RFA nicht erfassbaren Elementen zu erhalten.

Abbildung 43: Teile für RFA und ICP-OES-Messung



Bildquelle: Wessling

Tabelle 108: Legierungsidentifizierung zweier Proben aus der Metallmischfraktion der Firma 2 für Paralleluntersuchung RFA versus ICP (Angaben in %)

Bezeichnung	Legierung	Zn	Cu	Fe	Mn
Stahlkäfig innen	Kein Treffer: *5.22	12,5		87	
Stahlkäfig außen	IRON/CS: *3.79	1,79		96,8	0,43

Der hohe Zinkgehalt in Bildquelle: Wessling

Tabelle 108 ist der Oberfläche zuzurechnen. Eine Legierung mit entsprechenden Zn-Anteilen wird nicht identifiziert.

Tabelle 109: Ergebnisse der ICP-OES Messung zweier Teile aus der Metallmischfraktion der Firma 2 (Angaben in %)

Parameter	Stahlkäfig innen	Stahlkäfig außen
Ag	< 1,1	< 1,2
Al	290	2.200
Au	14	20
Co	15	27
Cr	280	1.100
Cu	95	900
Mn	1.400	3.200
Nd	61	50
Ni	64	270
Pb	< 25	< 22
Pd	< 10	< 10

Parameter	Stahlkäfig innen	Stahlkäfig außen
Sn	7,4	41
Ta	< 10	< 10
Zn	780	45.000

Auffällig sind die Nachweise von Gold mit Konzentrationen zwischen 14 mg/kg und 20 mg/kg sowie von Neodym (Nd) (50 mg/kg und 61 mg/kg).

Tabelle 110: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Chrom in Metallmischfraktion der Firma 2 (Angaben in %)

Chrom (Cr)	Stahlkäfig innen	Stahlkäfig aussen
ICP-Messung	0,028	0,11
RFA-Messung	n. n.	n. n.

Tabelle 111: Vergleich der RFA-Ergebnisse mit den ICP-Ergebnissen für Mangan in Metallmischfraktion der Firma 2 (Angaben in %)

Mangan (Mn)	Stahlkäfig innen	Stahlkäfig aussen
ICP-Messung	0,14	0,32
RFA-Messung	n. n.	0,43

Der Vergleich der Ergebnisse der RFA- mit den Ergebnissen der ICP-OES-Analysen zeigt für Mn einen Unterschied von über 30 %. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die RFA im Spurenbereich n. n. ausweist, wenn die Gehalte nicht vom Rauschen zu unterscheiden sind. Die RFA kann nur ab Bestimmungsgrenze quantifizieren und die durch die ICP-Messung gefundenen Werte von bis zu 0,14 lagen unterhalb. Insofern sind die Ergebnisse plausibel.

3.6 Untersuchungen VA-Schrott

Um Aussagen zu im VA-Schrott enthaltenden Legierungen zu bekommen, wurden stichprobenartig von beiden Schredderanlagen 10-15 Teile VA-Schrott entnommen, um eine Aussage über die Art und Häufigkeit der enthaltenen Legierungen zu erhalten. Der VA-Stahlschrott besteht aus Edelstählen, die in der Regel höher legiert sind als der magnetische Stahlschrott (vergleiche Probe 1, Fe-Fraktion).

Die Entnahme der Proben erfolgte jeweils an separierten und gesondert gelagerten VA-Schrott-Fraktionen. Zur Legierungsidentifikation wurden die RFA und ihre Bibliothek benutzt. Die VA-Teile sind unbeschichtet, dadurch entfallen die Probleme mit der Oberflächenbeschichtung und auch das vorherige Abschleifen entfällt.

3.6.1 VA-Teile der Firma 1

Die Tabelle 112 zeigt die detektierten Legierungstypen der VA-Teile der Firma 1, die in Abbildung 44 optisch dokumentiert sind. In der Spalte „Legierung“ sind die zugeordneten Legierungstypen genannt, die sich aufgrund der Zusammensetzung nach DIN 10088-3 (Einhaltung Spannweiten) ergeben.

Tabelle 112: Zusammensetzung der VA Teile der Firma 1

Probe	Masse (kg)	Legierung	Mo (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)
Rohr dick	0,30	1.4301/05/11: 0.44	0,09	0,22	0,39	8,19	71,82	1,06	17,79
Rohr Muffe 1	0,05	1.4541/44: 1.39	0,08	0,30	0,34	8,44	71,44	1,40	17,68

Probe	Masse (kg)	Legierung	Mo (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)
Rohr Muffe 2	0,10	1.4301/05/11: *2.32		0,61		8,50	72,07	1,13	17,22
Rohr dünn	0,15	1.4401/04/06: 2.23	2,16	0,28		10,46	68,36	1,56	16,19
Blech breit	0,20	1.4301/05/11: 0.74	0,20	0,22	0,70	10,00	69,73	1,17	17,51
Blech dünn	0,15	01:01,9	0,27	0,07	0,33	7,71	71,53	1,90	17,57
Blech schmal	0,12	1.4301/05/11: 0.27	0,09	0,29	0,52	8,14	72,03	0,87	17,83
Blech Knäuel	0,15	1.4301/05/11: 1.83	0,19	0,15	0,36	7,81	70,78	1,50	18,19
Hülse groß	0,10	1.4301/05/11: 0.62	0,29	0,23	0,37	8,32	70,83	1,39	17,79
Hülse klein	0,06	1.4301/05/11: 0.85	0,42	0,05		9,07	71,11	1,40	17,33
Draht 1	0,02	1.4301/05/11: 1.12	0,36	0,42		9,13	70,15	1,98	17,35
Draht 2	0,01	301: *2.69	0,23	0,57		9,39	72,06	1,14	16,27

Abbildung 44: Untersuchte VA-Teile der Firma 1



Bildquelle: Wessling

3.6.2 VA-Teile der Firma 2

Die Tabelle 113 zeigt die mittels RFA untersuchten Metallgehalte und Legierungstypen der VA-Teile der Firma 2, die in Abbildung 45 mittels Foto dokumentiert sind. In der Spalte „Legierung“ sind die zugeordneten Legierungstypen genannt, die sich aufgrund der Zusammensetzung nach DIN 10088-3 (Einhaltung Spannweiten) ergeben.

Tabelle 113: Zusammensetzung der VA Teile der Firma 2

Probe	Masse (kg)	Legierung	Mo (%)	Nb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Ni (%)	Fe (%)	Mn (%)	Cr (%)	Ti (%)
Schalldämpfer	2,45	1.4541/44: 1.39	0,28			0,43	8,31	70,66	1,30	18,03	
Rohr dickwandig	0,35	1.4828: 0.56	0,36				12,34	64,51	1,83	20,19	
o-Profil (Hartlotstellen nicht gemessen)	0,20	1.4301/05/11: 2.04	0,39			0,48	7,96	72,45	1,13	16,85	
Blech dünn schwarz	0,05	301: *2.43	0,27				8,58	72,00	1,04	16,45	
Blech breit	0,10	1.4301/05/11: 0.91	0,31			0,33	8,97	70,93	1,00	17,96	
Rohr	0,25	1.4301/05/11: 0.55	0,29			0,31	8,48	71,44	0,96	17,95	
Katalysator (Außenseite)	1,50	1.4301/05/11: 0.78	0,35				9,34	70,20	1,38	17,91	
Katalysator (Siebblech)		1.4301/05/11: *2.31	0,28		0,65		8,09	70,87	1,51	17,68	
Katalysator (Stahlwolle)		1.4113/434: *3.62	0,99		1,35		0,59	79,36	0,40	16,06	
Blech	0,15	1.4301/05/11: 0.58	0,22				8,72	70,90	1,28	17,89	
Muffenrohr	0,10	1.4306: 1.20	0,18				12,05	67,24	1,04	18,34	
Blech klein (geschliffen)	0,10	1.4541/44: *2.93	0,22				8,49	71,93	1,78	15,60	1,00
U-Scheibe (geschliffen).	0,01	2.4668I718: *2.17	2,95	4,93			53,37	18,70	0,28	17,58	1,80

Abbildung 45: Untersuchte VA Teile der Firma 2



Bildquelle: Wessling

Die Ergebnisse für beide Anlagen zeigen die Massenrelevanz dieser Fraktion für die untersuchten Legierungselemente.

3.7 Untersuchungen Schredderschwerfraktion (Probe 3)

3.7.1 SSF Firma 1

3.7.1.1 Anteilsermittlung und Korngrößenverteilung

Die Probenahme erfolgte in der Fraktion, die als Korngröße < 2 mm aus der Aufbereitung der Schredderschwerfraktion (vergl. Abbildung 27) resultierte (siehe hierzu auch Kapitel 3.3). Es wurden 3 unabhängige Mischproben der Fraktion < 2 mm mit je ca. 6 l in das Labor überführt. Probenbehältnisse waren ein 5 l - PE-Eimer und 1 l - Schraubgläser (braun) und je zwei methanolüberschichtete Gläser für die BTEX-Analytik.

Für jede Probe wurde eine Sortier- und Korngrößenanalyse in Anlehnung an DIN 19747 auf Fe, Al, Cu, Glas, Kunststoff/ Elastomere und nicht-Glas-Mineralik (> 2 mm, > 1 mm bis 2 mm, > 0,5 mm bis < 1 mm, bis 0,5 mm) durchgeführt.

In der Fraktion > 2 mm wurden aus der gesamten Menge händisch Fe, Cu und Al ausgelesen. Zudem wurden die Anteile für Glas und Kunststoffe ausgelesen und verwogen.

In 1/10 der Gesamtprobe wurden die Anteile der Fraktionen < 2 mm bestimmt. Es wurde in jeder Fraktion von drei Personen der Glasanteil optisch geschätzt.

Da eine optische Unterscheidung zwischen Kunststoff und Mineralik nicht möglich ist, wurde der Anteil an Kunststoffen/Elastomeren über die Bestimmung des Glühverlustes ermittelt. Bei Testversuchen mittels Schwimm-Sink-Versuch ergaben sich Glühverluste für die schwimmende Fraktion im Bereich von 20-70 %. Eine Schwimm-Sink-Trennung mit Wasser ist hier ungeeignet, um die Anteile Kunststoff und Mineralik zu unterscheiden. Deshalb wurde der Glühverlust als alleiniges Maß für die Bestimmung der Kunststoff-/ Elastomerfraktion benutzt.

Der Nicht-Glas-Mineralikanteil ergibt sich rechnerisch als Differenz von Gesamtfraktion und Glas- und Kunststoffanteil (der Metallanteil war nicht massenrelevant). Eine Bestimmung des in der < 2 mm-Fraktion noch enthaltenen metallischen Anteils ist optisch nicht möglich. Ein Magnettest zeigte metallische Anteile an, aufgrund von Anhaftungen war jedoch die mengenmäßige Ermittlung nicht möglich.

Für jede der drei Mischproben SSF (Probe 3.1, Probe 3.2 und Probe 3.3) sind die Bestandteile in Tabelle 114 dargestellt. Die separierten metallischen Bestandteile stellen für die weitere Probenzerkleinerung Störstoffe dar und gehen nicht in die chemische Analyse der Analysenproben ein.

Abbildung 46, Bildquelle: Wessling
Abbildung 47 und Bildquelle: Wessling

Abbildung 49 zeigen Fotos verschiedener Körnungsklassen. In Abbildung 46 erkennt man, dass sich in der Gesamtprobe Teilchen größer 2 mm befinden, der technische Trennprozess lässt in der Fraktion „< 2 mm“ durchaus auch noch größere Teilchen durch.

Abbildung 46: SSF (Probe 3) Firma 1 Fraktion > 2 mm gesiebt



Bildquelle: Wessling

Abbildung 47: SSF (Probe 3) Firma 1 Fraktion > 1 mm und bis 2 mm gesiebt



Bildquelle: Wessling

Abbildung 48: SSF (Probe 3) Firma 1 Fraktion 0,5 bis 1 mm gesiebt



Bildquelle: Wessling

Abbildung 49: SSF (Probe 3) Firma 1 Fraktion < 0,5 mm gesiebt

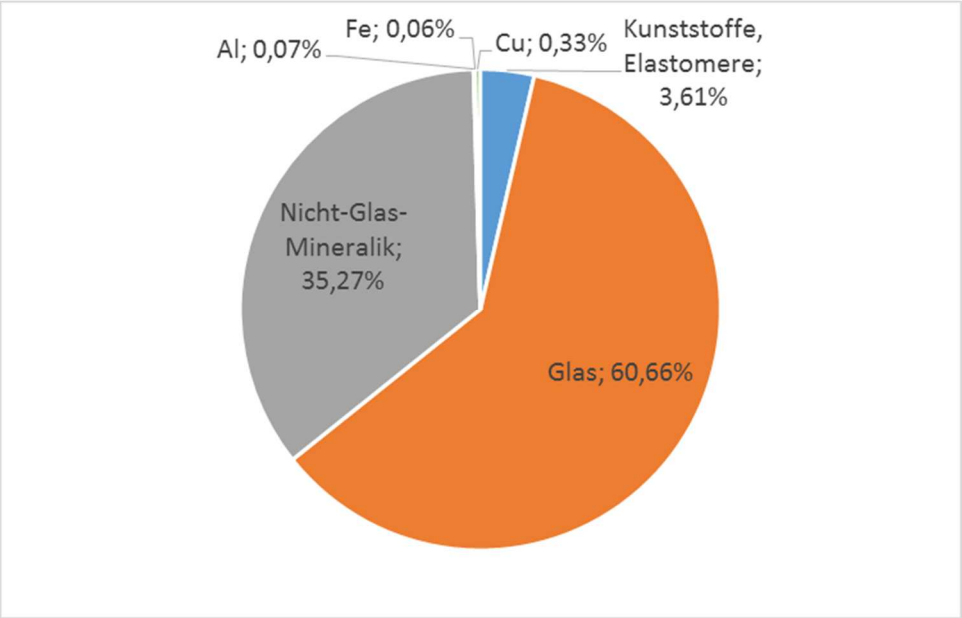


Bildquelle: Wessling

Tabelle 114: Ergebnis der Sortieranalyse SSF (Probe 3) Firma 1: Materialzusammensetzung der Proben

Fraktion	Probe 3 gesamt (gewichteter Durchschnitt)	Probe 3.1	Probe 3.2	Probe 3.3
Kunststoffe und Elastomere	**3,61 %**	3,35 %	4,02 %	3,38 %
Glas	**60,66 %**	63,68 %	61,03 %	56,01 %
Nicht-Glas-Mineralik	**35,27 %**	32,61 %	34,52 %	39,96 %
Al	**0,07 %**	0,00 %	0,09 %	0,13 %
Fe	**0,06 %**	0,02 %	0,00 %	0,20 %
Cu	**0,33 %**	0,33 %	0,34 %	0,32 %
Summe in kg	**17,101**	**6,152**	**6,462**	**4,487**

Abbildung 50: Materialzusammensetzung SSF (Korngröße < 2 mm) (Probe 3) Firma 1



Es wird deutlich, dass die SSF < 2 mm der Firma 1 überwiegend aus Glas besteht sowie aus anderen mineralischen Bestandteilen. Der Metallanteil liegt deutlich unter 1 %.

Tabelle 115: Ergebnis Sortier- und Korngrößenanalyse SSF (Probe 3) der Firma 1: Verteilung der Probe insgesamt und der einzelnen Materialfraktionen auf die Korngrößenbereiche (Massenanteile)

Körnung	Gesamtfraktion	Glas	Nicht-Glas-Mineralik	Kunststoffe, Elastomere	Metalle
> 2 mm	53,2 %	61,4 %	38,6 %	47,9 %	100,0 %
> 1 - 2 mm	13,0 %	16,8 %	6,9 %	9,2 %	0,0 %
> 0,5 - 1 mm	15,1 %	15,4 %	14,4 %	17,2 %	0,0 %
bis 0,5 mm	19,0 %	6,4 %	40,1 %	25,8 %	0,0 %

Es zeigt sich, dass sich alle Metalle zu 100 % und Glas überwiegend in der Körnung > 2 mm befindet. Die Nicht-Glas-Mineralik teilt sich fast gleich auf die Körnung > 2 mm und < 0,5 mm auf. Kunststoffe verteilen sich auf alle Korngrößenklassen mit dem geringsten Anteil in der Klasse > 1 bis 2 mm (Abbildung 52).

Abbildung 51: Korngrößenanteil der SSF (Probe 3) der Firma 1

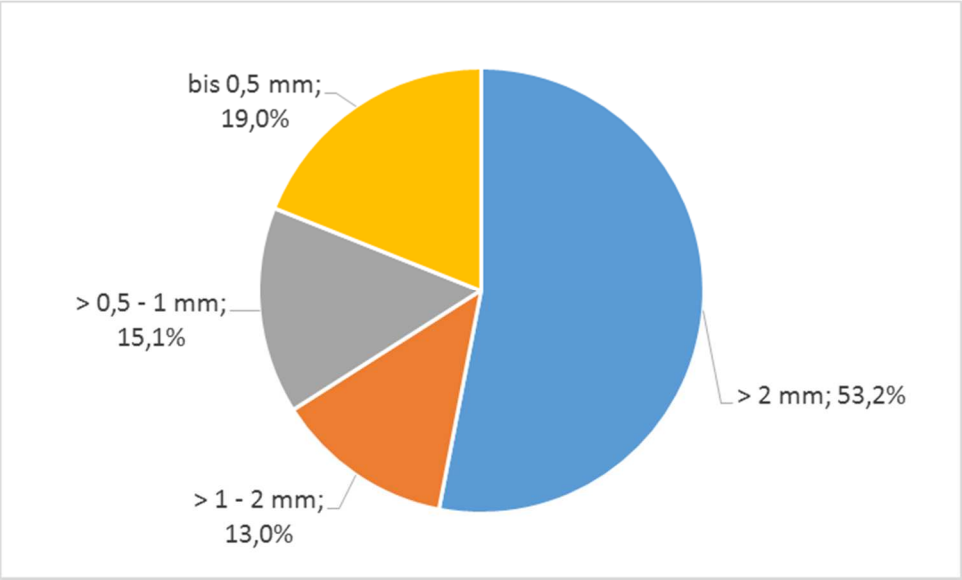
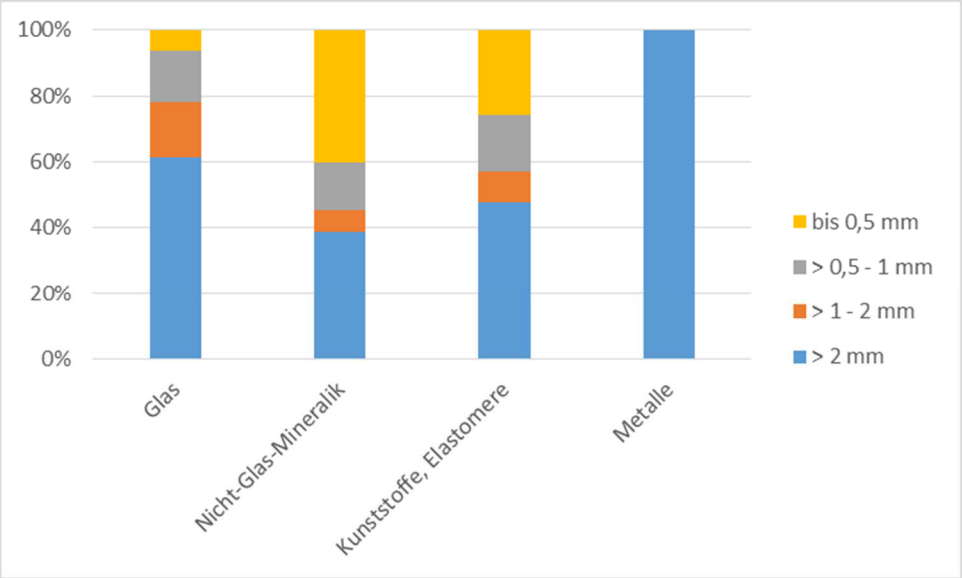


Abbildung 52: Verteilung der Materialfraktionen SSF (Probe 3) der Firma 1 auf die Korngrößen



3.7.1.2 Chemische Untersuchungen

Aus jeder der drei entnommenen Mischproben (Probe 3.1/3.2/3.3) wurden nach Homogenisierung derselben 500 g als Teilprobe für die chemischen Untersuchungen entnommen und für die einzelnen Analysen zur Verfügung gestellt. Für die Metallanalytik wurde jede Analysenprobe auf < 63 µm gemahlen. Analog der Vorschrift für Ersatzbrennstoffe wurde für die Matrix anstelle des einfachen Königswasseraufschlusses der Königswasserdruckaufschluss gewählt (RAL 2017).

Für jede der drei entnommenen Mischproben (Probe 3.1/3.2/3.3) wurden eine erste und eine zweite Bestimmung durchgeführt. Damit können für die Parameter der SSF (Probe 3), die quantifizierbare Gehalte besitzen (größer als Bestimmungsgrenze), Repräsentativitätstests (E-DIN 19698 Teil 2) durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Analytik der allgemeinen Parameter und der Metalle sind in Tabelle 116 (inklusive der vorab abgetrennten Metalle, siehe Tabelle 114) dargestellt. Die Ergebnisse der Analytik der organischen Schadstoffe sind in Tabelle 131 dargestellt.

Tabelle 116: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SSF (Probe 3) der Firma 1, inklusive der vorab separierten Metalle(*)

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SSF Probe 3.1.a	SSF Probe 3.1.b	SSF Probe 3.2.a	SSF Probe 3.2.b	SSF Probe 3.3.a	SSF Probe 3.3.b	SSF Probe 3 (Mittelwert)
Gesamtwassergehalt Originalprobe	Gew %	OS	2,1	2,1	1,9	2,0	2,5	2,4	2,2
Trockenrückstand	Gew %	OS	97,9	97,9	98,1	98,0	97,5	97,6	97,8
Glühverlust (550°C)	Gew %	TS	13,8	18	15	13,9	20,5	14	15,9
Gesamt org. Kohlenstoff (TOC)	Gew %	TS	9,1	8,8	8,6	7,9	5,8	7,5	8
Ag	mg/kg	TS	27	25	39	18	23	37	28,2
Al* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg	TS							700
Au	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Be	mg/kg	TS	0,12	0,35	0,19	0,15	0,18	0,17	0,19
Cd	mg/kg	TS	5	4,7	4,8	4,8	7,2	35	10,25
Co	mg/kg	TS	31	46	48	29	34	46	39
Cr	mg/kg	TS	1.300	1.900	1.200	1.400	270	330	1.070
Cu	mg/kg	TS	8.800	2.300	14.000	7.400	4.500	8.700	7.600
Cu* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg								3.300
Fe* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg								600
Hg	mg/kg	TS	0,31	0,24	0,24	0,24	0,44	0,47	0,32
Nd	mg/kg	TS	90	78	57	60	44	46,6	63
Ni	mg/kg	TS	570	830	680	560	180	230	510
Pb	mg/kg	TS	11.000	15.000	18.000	8.400	9.300	15.000	12.780
Pd	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Sb	mg/kg	TS	39	41	40	52	28	34	39
Sn	mg/kg	TS	620	490	780	640	190	350	512

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SSF Probe 3.1.a	SSF Probe 3.1.b	SSF Probe 3.2.a	SSF Probe 3.2.b	SSF Probe 3.3.a	SSF Probe 3.3.b	SSF Probe 3 (Mittelwert)
Ta	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Zn	mg/kg	TS	9.300	11.000	12.000	9.000	12.000	9.200	10.400
Cl_{gesamt}	Gew %	TS	0,18	0,14	0,16	0,16	0,2	0,17	0,17
Br_{gesamt}	Gew %	TS	< 0,005	0,008	< 0,007	< 0,007	< 0,013	< 0,012	< 0,009

Hinweis: OS Originalsubstanz, TS Trockensubstanz

3.7.1.3 Repräsentativitätstests für die Analysenergebnisse zu SSF (Probe 3) Firma 1

Ziel analytischer Untersuchungen ist oftmals die inhaltliche Charakterisierung einer interessierenden Grundmenge (z. B. SSF-Fraktion). Da nicht die gesamte Grundmenge untersucht werden kann, werden sogenannte Stellvertreterproben entnommen bzw. zusammengestellt (aus vielen Einzelproben werden Mischproben erstellt, in das Labor überführt, dort homogenisiert und bis zur Laborprobe verjüngt). Aus den Laborproben werden dann die für die einzelnen chemischen Untersuchungen benötigten Analysenproben entnommen und untersucht. Die Messergebnisse der Laborproben charakterisieren nun mit einer bestimmten Unsicherheit das interessierende Merkmal der Grundmenge. Unsicherheitsbeiträge resultieren hierbei aus den Teilschritten Probenahme, Probenvorbereitung und Analytik. Die Unsicherheit wird durch Streuungen (s=Standardabweichung) charakterisiert. Die Standardunsicherheit u entspricht dabei der einfachen Standardabweichung (u=1*s). Diese besitzt nur ca. 68 % statistische Sicherheit. Um eine etwa 95 %ige statistische Sicherheit für abzuleitende Aussagen zu besitzen, nutzt man die erweiterte Messunsicherheit U (U=2*s). Die erweiterte Messunsicherheit gibt den Bereich um den angegebenen Messwert an, indem sich mit der 95 %igen statistischen Sicherheit der wahre Wert der zu charakterisierenden Grundgesamtheit befindet.

Der hier benutzte Repräsentativitätstest aus (E-DIN 19698 Teil 2) verfolgt zwei Ansätze, um Aussagen über die Repräsentativität der Ergebnisse abzuleiten:

a) Ansatz 1: Ein Analysenergebnis ist repräsentativ, wenn eine geforderte Genauigkeit (Unsicherheit U_{tol}) eingehalten ist.
b) Ansatz 2: Die Probennahme gilt als repräsentativ, wenn sie keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtstreuung besitzt (also z. B. die Analysenstreuung nicht signifikant erhöht).

Der erste Ansatz kann nach Wahl und Festlegung von U_{tol} geprüft werden. Hier erfolgt die Entscheidung durch den Vergleich der Gesamtunsicherheit (U) aus allen Bestimmungen mit der Vorgabe U_{tol}.

Um die Güte der Probennahme einzuschätzen, ist der 1. Ansatz ungeeignet, dazu wird der 2. Ansatz benutzt. Dieser vergleicht die Streuungsanteile von Probennahme und Analytik auf signifikante Vergrößerungen und beurteilt, ob die Probennahme repräsentativ war. Auch bei Ergebnissen, bei denen der erste Ansatz ein nicht repräsentatives Ergebnis ergibt, kann die Probennahme hingegen repräsentativ sein, wenn z. B. die Schritte Probenvorbereitung und Analytik im Labor bereits einen zu hohen Unsicherheitsanteil ergeben. Die Probennahme kann Unzulänglichkeiten der Analytik nicht verhindern.

Die Repräsentativitätstests haben die Aufgabe, anhand der Auswertung der Doppelbestimmungen der drei verschiedenen Mischproben aufzuzeigen, ob genügend Mischproben für die Untersuchung gezogen wurden. Wenn ja, ergibt die Auswertung: Probenahme war „repräsentativ“, andernfalls „nicht repräsentativ“. Grundlage der Entscheidung ist der Vergleich mit der Streuung im Labor, also von Probevorbereitung und Analyse (Ansatz 2). Der Repräsentativitätstest vergleicht ebenfalls die ermittelte Gesamtmessunsicherheit U mit einer tolerierbaren Vorgabe (Ansatz 1). Hierbei wurde die relative erweiterte Unsicherheit U_{tol} = 30 % verwendet, welches für die untersuchte Matrix realistisch, aber durchaus streng ist. Härtere Forderungen (geringeres U_{tol}) an die erweiterte Messunsicherheit U (P= 95 %) sind unrealistisch, wenn man die erweiterten Messunsicherheiten aus Trinkwasserringversuchen betrachtet, die für bestimmte Parameter bereits in die Nähe der 30 % liegen. In vorliegender Matrix kommen die Unsicherheitsanteile durch die Inhomogenität des Probenmaterials, der Probenvorbereitung zur Analysenunsicherheit dazu. Selbstverständlich kann der Repräsentativitätstest auch für tolerierbare Unsicherheiten > 30 % gerechnet werden.

Die Berechnung der Probennahmestreuung erfolgt nach Hartung (1981).

Falls sich in den sechs Analysenresultaten extreme Werte befinden, ergibt sich eine große Streuung und damit auch erweiterte Unsicherheit. Dies führt dazu, dass die Untersuchung (trotz repräsentativer

Probenahme) insgesamt als „nicht repräsentativ“ eingeschätzt wird. Die Gesamtunsicherheit lässt sich durch die Untersuchung von weiteren Proben (beliebig) verringern. Die Streuung des Mittelwertes reduziert sich dabei um den Faktor 1/Wurzel (n), wobei n die Anzahl der Mehrfachbestimmungen an einer Probe sind. Die Reduzierung der Gesamtunsicherheit kann durch Erhöhung des analytischen Aufwandes erfolgen. Dies war u. a. der Grund, weshalb von den heterogenen Materialien SSF und SLF 6 analytische Untersuchungen erfolgten.

Für Verhältnisse von Probenahmestreuung s_p zur Analysenstreuung s_A von s_P/s_A kleiner 3 erhält man für Ansatz 2 „repräsentativ“ und für Unsicherheiten U_{tol} < 30 % im Ansatz 1. Ein Beispiel ist in Abbildung 53 dargestellt.

Abbildung 53: Beispiel einer Auswertung des Repräsentativitätstests SSF 1 (Probe 3) (Silber)

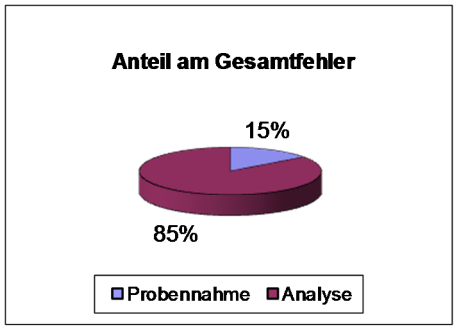
Praktischer Nachweis der Repräsentativität nach DIN 19698-2

D 2.2 Test I : Varianztest, Verhältnis Probennahme- und Analysenstreuung

D 2.1 Test II: Einhaltung vorgegebener Unsicherheit U_{tol} des Mittelwertes in %

Bezeichnung: **SSF Firma 1 Probe 3**
Untersuchter Parameter: **Silber**
Einheit: **mg/kg**

Proben-Nr.	1. Messung mg/kg	2. Messung mg/kg
MP3.1	27	25
MP3.2	39	18
MP3.3	23	37
MP/LP 4		
MP/LP 5		
MP/LP 6		
MP/LP 7		
MP/LP 8		
MP/LP 9		
MP/LP 10		



Anzahl Mehrfachbestimmungen n_A = 2
Anzahl Mischproben m = 3

Analysenvarianz/Varianz innerhalb der Proben

$$s_i^2 = s_A^2 = \frac{1}{m \cdot (n_A - 1)} \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n_A} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = \frac{1}{2m} \sum_{j}^{m} d_j^2$$

106,8

Analysenstreuung s_A = 10,3

Probennahmevarianz nach Hartung:

$$s_P^2 = \frac{n_A^2}{(n_A^2 + 1)} \cdot \frac{\sum_{j=1}^{m} (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2}{(m-1)} = \frac{n_A^2}{(n_A^2 + 1)} \cdot s_{\bar{x}_j}^2$$

Probenahmestreuung Hartung s_P = 1,8

Der Gesamtmittelwert beträgt:	28,2	mg/kg
erweiterte Messunsicherheit (P = 95 %) des Mittelwertes	6,7	mg/kg
rel. erweiterte Messunsicherheit (P = 95 %) des Mittelwertes U =	23,8	%

D 2 .2 Test I: Varianzanalyse, Verhältnis von Probenahme- zu Analysenstreuung

Repräsentativ, wenn s_P < 3 s_A (dann hat Probennahme keinen signifikanten Einfluss)

s_P	<	$3*s_A$		Hartung s_P/s_A
1,81	<	31,01	darf max. 3 sein!	0,2

Ergebnis Test I:

Für Silber war die Probennahme repräsentativ.

D 2 .1 Test II: Test auf Einhaltung vorgegebener Unsicherheit U_{tol}

Vorgegebene einzuhaltende relative Unsicherheit U_{tol} in % =	30	%
ermittelte relative Unsicherheit des Mittelwertes U in % =	23,8	%

Ergebnis Test II:

Für Silber ist das Resultat aus Probennahme und Analytik repräsentativ.

Im Beispiel der Abbildung 53 erkennt man, dass sich aufgrund einer größeren Unsicherheit der Probenvorbereitung und Analyse im Labor (39 mg/kg und 18 mg/kg bei der Doppelbestimmung) im Ver-

gleich zur geringeren Probennahmestreuung (Mittelwerte der drei Proben: 26, 26,5 und 30) das Streuungsverhältnis 0,2 ergibt. Aufgrund der größeren Streuung im Labor könnte auch eine noch viel größere Probennahmestreuung geduldet werden, ohne dass die Probenahme nicht repräsentativ wird.

Die Repräsentativitätstests wurden für SLF bezogen auf die Gesamtfraktion dargestellt, also mit ca. 5 % geringeren Gehalten, da die ausgelesenen Störstoffe bei der Analyse fehlten und deshalb mengenmäßig berücksichtigt wurden. Bei SSF war der Anteil an Aluminium, Eisen und Kupfer unerheblich, so dass eine Umrechnung entfallen konnte.

Wenn die Probenahme als nicht repräsentativ beurteilt wird, liegt die Ursache in den zu großen Unterschieden zwischen den Ergebnissen der Mischproben aus den Probenkisten im Vergleich zu den Unterschieden (Streuungen) der Doppelbestimmungen. Hier hätten noch weitere Mischproben gezogen und untersucht werden müssen.

3.7.1.4 Ergebnisse des Repräsentativitätstests SSF (Probe 3) der Firma 1

Aufgrund der zu erwartenden Heterogenität der Schredderschwerfraktion wurde die Repräsentativität der Ergebnisse der SSF-Proben untersucht. Dazu wurden die Analysenergebnisse der Tabelle 116 einem Repräsentativitätstest unterzogen (siehe Kapitel 3.7.1.3).

Tabelle 117 gibt einen Überblick über die Resultate des Repräsentativitätstests für die SSF (Probe 3) der Firma 1.

Tabelle 117: Übersicht der Ergebnisse des Repräsentativitätstests SSF (Probe 3) der Firma 1

Parameter	Einheit	Mittelwert	Urel. (%)	Verhältnis S_P/S_A	Probenahme war	Probenahme und Analytik sind
Gesamtwassergehalt der Originalprobe	Gew %	2,2	8,8	4	nicht repräsentativ	repräsentativ
Glühverlust (550°C)	mg/kg TS	15,9	14,3	0,4	repräsentativ	repräsentativ
Totaler org. Kohlenstoff (TOC)	Gew %	8,0	12,4	1,4	repräsentativ	repräsentativ
Ag	mg/kg TS	28,2	23,8	0,2	repräsentativ	repräsentativ
Au	mg/kg TS	n.b.				
Be	mg/kg TS	0,19	34	0,3	repräsentativ	nicht repräsentativ
Cd	mg/kg TS	10,3	97	0,7	repräsentativ	nicht repräsentativ
Co	mg/kg TS	39	18	0,1	repräsentativ	repräsentativ
Cr	mg/kg TS	1.070	49	2,3	repräsentativ	nicht repräsentativ
Cu	mg/kg TS	7.620	43	0,6	repräsentativ	nicht repräsentativ
Hg	mg/kg TS	0,3	26,8	3,3	nicht repräsentativ	repräsentativ
Nd	mg/kg TS	63	23,5	3,4	nicht repräsentativ	repräsentativ
Ni	mg/kg TS	510	41	2	repräsentativ	nicht repräsentativ
Pb	mg/kg TS	12.800	24,2	0,1	repräsentativ	repräsentativ
Pd	mg/kg TS	n.b.				
Sb	mg/kg TS	39	16,7	1,2	repräsentativ	repräsentativ
Sn	mg/kg TS	510	34,2	2	repräsentativ	nicht repräsentativ

Parameter	Einheit	Mittel-wert	Urel. (%)	Verhältnis S_P/S_A	Probenahme war	Probenahme und Analytik sind
Ta	mg/kg TS	n.b.				
Zn	mg/kg TS	10.400	11,1	0,1	repräsentativ	repräsentativ
Cl_{gesamt}	Gew %	0,17	9,9	0,6	repräsentativ	repräsentativ
Br_{gesamt}	Gew %	n.b.				

Anmerkungen: Die Probenahme ist repräsentativ, wenn das Streuungsverhältnis zwischen Probennahme und Analyse $s_p/s_A < 3$ beträgt.
Die Probenahme und Analytik sind insgesamt repräsentativ, wenn die relative erweiterte Gesamtunsicherheit $U_{rel} < U_{tol} = 30$ % ist.
Bei Gehalten der Analysenparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) wurde kein Repräsentativitätstest durchgeführt. In Tabelle 117 sind diese Analysenparameter mit der Abkürzung n.b. für „nicht bestimmbar“ dargestellt.

Man erkennt in Tabelle 117, dass die Probenahme und Analytik für die meisten Parameter als „repräsentativ“ bezeichnet werden können, sich aber für einige Elemente (Be, Cd, Cr, Cu, Ni, Sn) recht hohe Gesamtstreuungen ergeben. Insbesondere bei diesen Parametern sind Aussagen auf Basis der Messergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren. Dabei ist der Mittelwert ein belastbareres Resultat als jeder seiner Einzelwerte, die stark streuen. Ursache sind nicht homogenisierbare Probenbestandteile (z. B. kleinste Kupferteile), die mal in der Analysenprobe enthalten sind und dann wiederum nicht.

Man erkennt anhand der durchaus unterschiedlichen Größe der Messunsicherheiten, dass ein Reporting von Ergebnissen ohne seine erweiterte Messunsicherheit (die möglichst die Anteile Probenahme, Probenvorbereitung und Analyse enthalten sollte) keine belastbaren Aussagen ermöglicht.

3.7.2 SSF Firma 2

3.7.2.1 Anteilermittlung und Korngrößenverteilung

Auf die SSF der Firma 2, die eine Korngröße < 18 mm hatte, wurde das gleiche Untersuchungsschema angewendet, wie auf die SSF der Firma 1, siehe Beschreibungen im Kapitel 3.7.1 sowie zur Probennahme Kapitel 3.3.1 und Kapitel 3.3.2.

Im Unterschied zur SSF der Firma 1 umfasst die untersuchte Fraktion eine Korngröße bis 18 mm (statt 2 mm). Entsprechend erfolgte die Ermittlung der Kornverteilung in weiteren Stufen: > 10 mm, > 5 mm bis 10 mm, > 2 mm bis 5 mm und bis 2 mm.

Für jede der drei Mischproben SSF (Probe 3.1, Probe 3.2 und Probe 3.3) wurde eine Übersicht der Anteile und deren Korngrößenverteilungen angefertigt und in Bildquelle: Wessling

Tabelle 118 und Abbildung 59 und Tabelle 119 und Abbildung 61 zusammenfassend für die drei Mischproben (Probe 3) dargestellt. Die Berechnung erfolgt dabei anhand der ausgewogenen Massen. Die separierten metallischen Bestandteile stellen für die weitere Probenzerkleinerung Störstoffe dar und gehen nicht in die chemische Analyse der Analysenproben ein.

In Abbildung 54 bis Bildquelle: Wessling

Abbildung 57 sind die verschiedenen Kornfraktionen der SSF gezeigt. Bildquelle: Wessling

Abbildung 58 zeigt die Kupferfraktion > 10 mm.

Abbildung 54: SSF (Probe 3) Firma 2 Fraktion > 10 mm



Bildquelle: Wessling

Abbildung 55: SSF (Probe 3) Firma 2 Fraktion > 5 mm bis 10 mm



Bildquelle: Wessling

Abbildung 56: SSF (Probe 3) Firma 2 Fraktion > 2 mm bis 5 mm



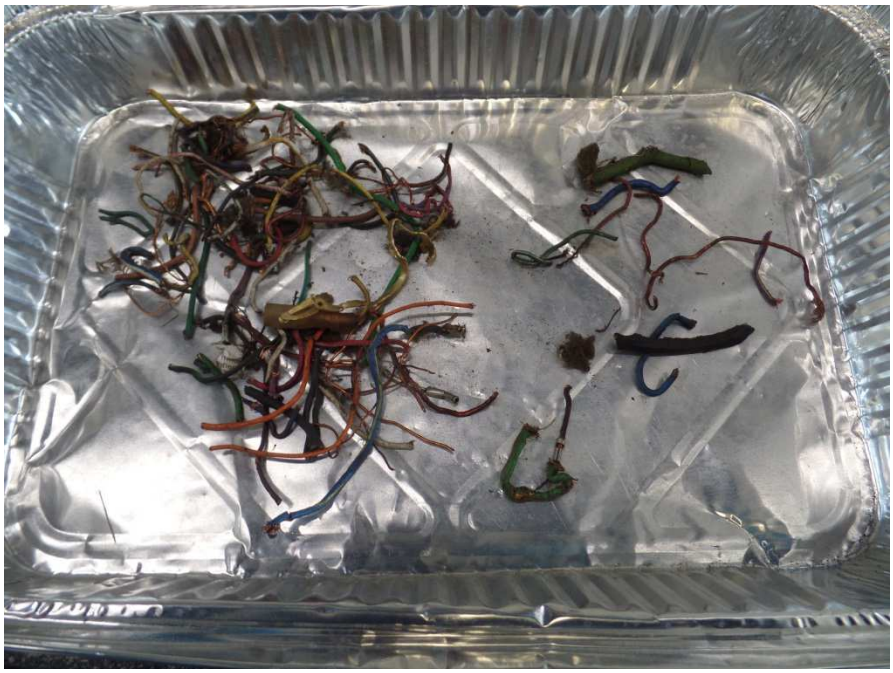
Bildquelle: Wessling

Abbildung 57: SSF (Probe 3) Firma 2 Fraktion bis 2 mm



Bildquelle: Wessling

Abbildung 58: SSF (Probe 3) Firma 2 ausgelesenen Kupferfraktion > 10 mm

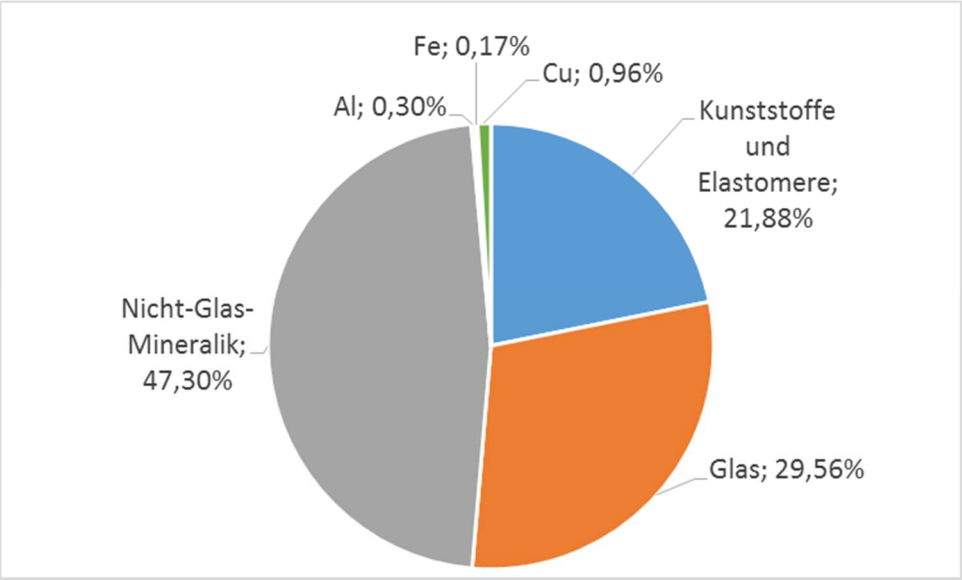


Bildquelle: Wessling

Tabelle 118: Ergebnis der Sortieranalyse SSF (Probe 3) Firma 2: Materialzusammensetzung

Probe	Probe 3.1	Probe 3.2	Probe 3.3	Anteil Probe 3 gesamt
Kunststoffe und Elastomere	23,22 %	20,56 %	22,10 %	21,88 %
Glas	32,50 %	18,84 %	37,31 %	29,56 %
Mineralik	56,38 %	45,10 %	40,36	47,30 %
Al	0,45 %	0,32 %	0,10 %	0,30 %
Fe	0,24 %	0,23 %	0,23 %	0,17 %
Cu	1,24 %	1,35 %	0,20 %	0,96 %
Summe in kg	**5,324**	**6,171**	**5,018**	**16,513**

Abbildung 59: Materialzusammensetzung SSF (Korngröße < 18 mm) (Probe 3) der Firma 2



In der SSF (Probe 3) der Firma 2 dominiert die Nicht-Glas-Mineralik, während es bei der Firma 1 die Fraktion Glas war. Auch bei der Fraktion Kunststoffe ist bei Firma 2 der Anteil höher, als bei der Firma 1. Ursache kann die höhere Korngröße (< 18 mm im Vergleich zu < 2 mm bei Firma 1) sein.

Tabelle 119 zeigt die Ergebnisse der Sortier- und Korngrößenanalyse der SSF (Probe 3).

Tabelle 119: Ergebnis Sortier- und Korngrößenanalyse SSF (Probe 3) der Firma 2: Korngrößenverteilung der der Probe insgesamt und Verteilung der einzelnen Materialfraktionen auf die Korngrößenbereiche (Massenanteile)

Körnung	Anteil Gesamtfraktion	Glas	Nicht-Glas Mineralik	Kunststoffe, Elastomere	Fe	Al	Cu
> 10 mm	20,2 %	0,5 %	0,0 %	85,6 %	100,0 %	100,0 %	87,4 %
> 5 - 10 mm	31,3 %	5,0 %	60,1 %	5,7 %	0,0 %	0,0 %	12,6 %
> 2 - 5 mm	34,1 %	84,6 %	16,4 %	6,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
bis 2 mm	14,6 %	9,9 %	23,5 %	2,4 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Abbildung 60: Korngrößenverteilung der Gesamtfraktion SSF (Probe 3) der Firma 2

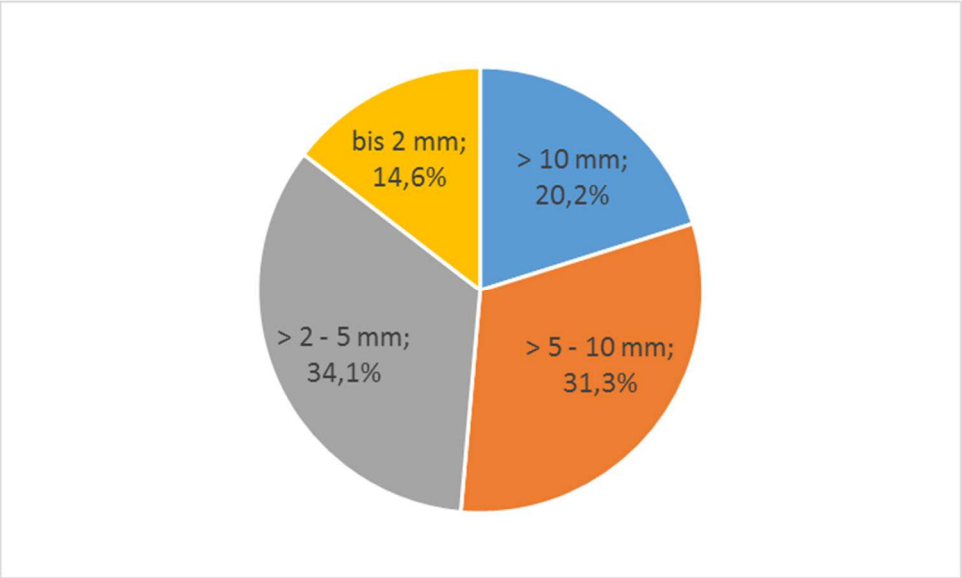
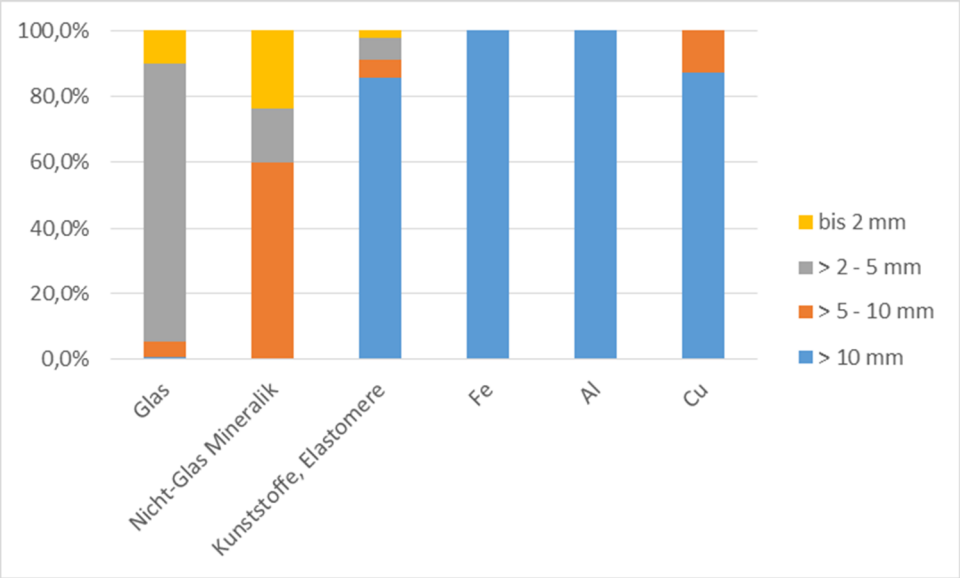


Abbildung 61: Verteilung der Materialfraktionen SSF (Probe 3) der Firma 2 auf die Korngrößen



Dabei zeigt sich, das sich Glas vor allem in der Fraktion > 2 bis 5 mm findet, die Nicht-Glas-Mineralik überwiegend in der Fraktion > 5 bis 10 mm und Kunststoffe, Elastomere sowie die Metalle in der Fraktion > 10 mm.

Es wurde zusätzlich eine Schüttdichte der SSF von 979 g/l ermittelt.

3.7.2.2 Chemische Untersuchungen und Ergebnisse SSF (Probe 3) der Firma 2

Aus der homogenisierten Laborprobe von 500 g wurden die Teilproben für die chemischen Untersuchungen entnommen und für die einzelnen Analysen zur Verfügung gestellt. Für die Metallanalytik wurde jede Analysenprobe auf < 63 µm gemahlen. Analog der Vorschrift für Ersatzbrennstoffe wurde für die Matrix anstelle des einfachen Königswasseraufschlusses der Königswasserdruckaufschluss gewählt (RAL 2017).

Für jede der drei entnommenen Mischproben (Probe 3.1/3.2/3.3) wurden eine 1. und eine 2. Bestimmung durchgeführt. Damit können für die Parameter der SSF (Probe 3) der Firma 2, die quantifizierbare Gehalte besitzen (größer als Bestimmungsgrenze), Repräsentativitätstests (E-DIN 19698 Teil 2) durchgeführt werden. Die Ergebnisse sowohl der

Analytik als auch der Repräsentativitätstests der allgemeinen Parameter und der Metalle sind in Tabelle 120 und Tabelle 121 dargestellt, inklusive der vorab abgetrennten Metalle (siehe Bildquelle: Wessling

Tabelle 118). Die Ergebnisse der Analytik und Repräsentativitätstests der organischen Schadstoffe sind in Tabelle 133 und Tabelle 134 dargestellt.

Tabelle 120: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SSF (Probe 3) der Firma 2, inklusive der vorab separierten Metalle(*)

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SSF Probe 3.1.a	SSF Probe 3.1.b	SSF Probe 3.2.a	SSF Probe 3.2.b	SSF Probe 3.3.a	SSF Probe 3.3.b	SSF Probe 3 (Mittelwert)	SSF Probe 3 (Median)
Gesamtwassergehalt Originalprobe	Gew %	OS	0,8	0,7	0,5	0,6	1,1	0,6	0,7	
Trockenrückstand	Gew %	OS	99,2	99,3	99,5	99,4	98,9	99,4	99,3	
Glühverlust (550°C)	Gew %	TS	27,6	26,5	18,7	23,3	19	20,9	22,7	
Totaler org. Kohlenstoff (TOC)	Gew %	TS	16	12	9,3	4,7	5,6	7,8	9	
Ag	mg/kg	TS	57	7	8,2	65	17	11	27,5	
Al* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg	TS							3.000	
Au	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Be	mg/kg	TS	0,15	0,1	0,13	0,14	0,14	0,21	0,15	
Cd	mg/kg	TS	1,4	1,4	1	< 0,01	0,72	1,1	1,1	
Co	mg/kg	TS	17	11	89	870	520	20	255	55
Cr	mg/kg	TS	130	110	3500	1600	1600	150	1180	
Cu	mg/kg	TS	15.000	23.000	10.000	3.700	11.000	26.000	14.800	
Cu* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg	TS							9.600	
Fe* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg	TS							1.700	
Hg	mg/kg	TS	0,12	0,07	0,14	< 0,03	0,13	0,13	0,118	0,13
Nd	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	11	< 10	< 10	10	
Ni	mg/kg	TS	110	93	320	320	540	87	250	
Pb	mg/kg	TS	3.400	1.600	840	4.800	550	910	2.020	
Pd	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	82	< 10	< 10	< 10	
Sb	mg/kg	TS	76	73	85	56	140	100	88	
Sn	mg/kg	TS	320	190	110	130	110	110	162	

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SSF Probe 3.1.a	SSF Probe 3.1.b	SSF Probe 3.2.a	SSF Probe 3.2.b	SSF Probe 3.3.a	SSF Probe 3.3.b	SSF Probe 3 (Mittelwert)	SSF Probe 3 (Median)
Ta	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Zn	mg/kg	TS	5.600	4.300	2.900	3.200	3.700	3.500	3.900	
Cl_{gesamt}	Gew %	TS	0,46	0,48	0,45	0,48	0,41	0,24	0,42	
Br_{gesamt}	Gew %	TS	< 0,008	< 0,009	0,01	0,05	0,03	0,017	0,027	0,023

Hinweis: OS Originalsubstanz, TS Trockensubstanz, L-TS Lufttrockensubstanz

Die Untersuchungen zeigen unter anderem hohe Gehalte an Kupfer und Blei. Der durchschnittliche Silbergehalt liegt in der gleichen Größenordnung wie bei Firma 1, der Neodymgehalt deutlich niedriger.

3.7.2.3 Ergebnisse des Repräsentativitätstest SSF (Probe 3) Firma 2

Die chemischen Untersuchungen der SSF (Probe 3) der Firma 2 (siehe Tabelle 120) lassen für einige Parameter sehr heterogene Messwerte erkennen. Daher war es interessant, die Repräsentativität der SSF-Probe zu untersuchen. Dazu wurden die Analysenergebnisse aus Tabelle 120 einem Repräsentativitätstest entsprechend den methodischen Erläuterungen in Abschnitt 3.7.1.3 unterzogen

Tabelle 121 zeigt die Ergebnisse der Repräsentativitätstests der chemischen Parameter.

Tabelle 121: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SSF Probe 3 der Firma 2

Parameter	Einheit	Mittelwert	Urel. (%)	Verhältnis S_P/S_A	Probenahme war	Probenahme und Analytik sind
Gesamtwassergehalt Originalprobe	Gew %	0,7	24,3	0,6	repräsentativ	repräsentativ
Glühverlust (550°C)	mg/kg TS	22,7	13,6	1,6	repräsentativ	repräsentativ
Gesamt org. Kohlenstoff (TOC)	Gew %	9,2	37	1,4	repräsentativ	nicht repräsentativ
Hg	mg/kg TS	0,34	101	1,9	repräsentativ	nicht repräsentativ
Pb	mg/kg TS	2.020	70	0,6	repräsentativ	nicht repräsentativ
Cd	mg/kg TS	0,94	45,5	0,9	repräsentativ	nicht repräsentativ
Cr	mg/kg TS	1.180	93	1,1	repräsentativ	nicht repräsentativ
Cu	mg/kg TS	14.800	46	0,8	repräsentativ	nicht repräsentativ
Ni	mg/kg TS	245	60	0,6	repräsentativ	nicht repräsentativ
Zn	mg/kg TS	3.870	20	1,6	repräsentativ	repräsentativ
Sn	mg/kg TS	160	42	1,3	repräsentativ	nicht repräsentativ
Au	mg/kg TS	n.b.				
Ag	mg/kg TS	28	78	0,3	repräsentativ	nicht repräsentativ
Pd	mg/kg TS	n.b.				
Ta	mg/kg TS	n.b.				
Nd	mg/kg TS	n.b.				
Co	mg/kg TS	255	115	0,6	repräsentativ	nicht repräsentativ
Sb	mg/kg TS	88	27	1,2	repräsentativ	nicht repräsentativ
Be	mg/kg TS	0,15	20,4	0,5	repräsentativ	repräsentativ
Cl_{gesamt}	Gew %	0,42	18	1	repräsentativ	repräsentativ
Br_{gesamt}	Gew %	0,027	65	0,6	repräsentativ	nicht repräsentativ

Anmerkungen: Die Probenahme ist repräsentativ, wenn das Streuungsverhältnis zwischen Probennahme und Analyse $s_p/s_A < 3$ beträgt.
Die Probenahme und Analytik sind insgesamt repräsentativ, wenn die relative erweiterte Gesamtunsicherheit $U_{rel} < U_{tol} = 30$ % ist.
Bei Gehalten der Analysenparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) wurde kein Repräsentativitätstest durchgeführt. In Tabelle 121 sind diese Analysenparameter mit der Abkürzung n.b. für „nicht bestimmbar“ dargestellt.

Tabelle 120 zeigt teilweise besonders hohe Streuungen innerhalb der 6 Messwerte pro Parameter (z. B. für Cr, Cu, Ag und Co) mit Messwertunterschieden bis zum Faktor 10. Dies spiegelt sich auch im Ergebnis des Repräsentativitätstests wider. So war die Probenahme war für die meisten Parameter repräsentativ. Die Tabelle 121 zeigt, dass trotz repräsentativer Probenahme, aufgrund der großen Analysenstreuungen bei vielen Parametern die Gesamtstreuung die geforderte tolerierbare Unsicherheit von 30 % überschreitet. Hier kann nur die Untersuchung weiterer Proben eine Reduzierung der Messunsicherheit bringen. Die Streuung des Mittelwertes verringert sich durch die Erhöhung der Anzahl der Messungen.

Bekannte Ursache dieser hohen Streuungen in Sekundärbrennstoffen, die hier analog wirkt, ist die Kompaktheit einiger Merkmalsträger (feste, nicht durch Mahlen zerkleinerbare Teilchen, wie beispielsweise kleinste Kupferteilchen), die eine weitere Homogenisierung verhindern. Quecksilber lässt sich beispielsweise kaum homogenisieren. Für den Parameter BTEX standen jeweils nur Einzelproben zur Verfügung, da eine Mischprobenbildung untersagt ist. Hier sind größere Streuungen deshalb stets zu erwarten.

Für evtl. weitere Berechnungen aus den Parametern mit hohen Unsicherheiten können robuste Methoden genutzt werden, wie beispielsweise der Median zur Charakterisierung des Mittels und Perzentile für die Verteilungscharakterisierung.

3.7.3 Fazit SSF

Die Untersuchungen zur Zusammensetzung der SSF der beiden Firmen haben erwartbare Elementkonzentrationen ergeben. Die Konzentrationen der Elemente unterscheiden sich zwischen den Firmen (siehe Abbildung 62 und Abbildung 63), ohne dass spezifische Rückschlüsse auf Besonderheiten der verarbeiteten Altfahrzeuge gezogen werden könnten (für eine Schlussfolgerung auf die Massenströme siehe Kapitel 5). Den Abbildungen kann entnommen werden, dass für die SSF-Fraktion die Elementgehalte für Blei, Zink und Neodym bei der Firma 1 höher ausfallen und die Elemente Kupfer, Kobalt und Antimon bei der Firma 2. Möglicherweise tragen die unterschiedlichen Korngrößen zu den Differenzen bei (SSF 1 < 2 mm, SSF 2 < 18 mm). Aus der Korngrößenverteilung (Tabelle 119) geht hervor, dass sich Kupfer in den Fraktionen > 2 mm konzentriert. Metalle, die eher in den feinen Fraktionen zu finden sind, sind in der SSF-Probe der Firma 1 (< 2 mm) stärker konzentriert als in der SSF-Probe der Firma 2, die zu 85 % aus Partikeln > 2 mm besteht (Tabelle 119). Alle anderen Elementgehalte sind vergleichbar.

Abbildung 62: Vergleich der Mittelwerte der Elemente höherer Konzentration in der SSF beider Firmen

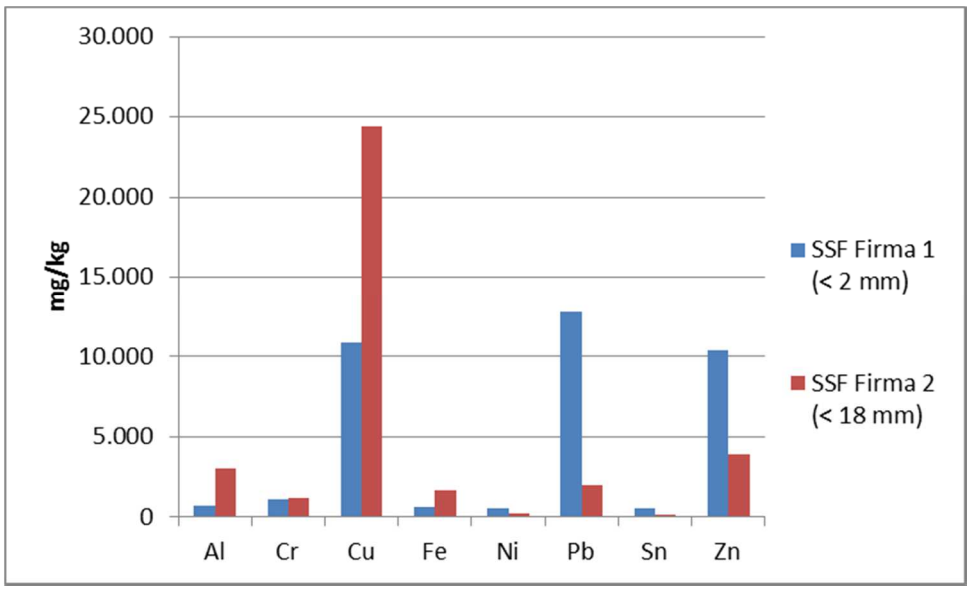
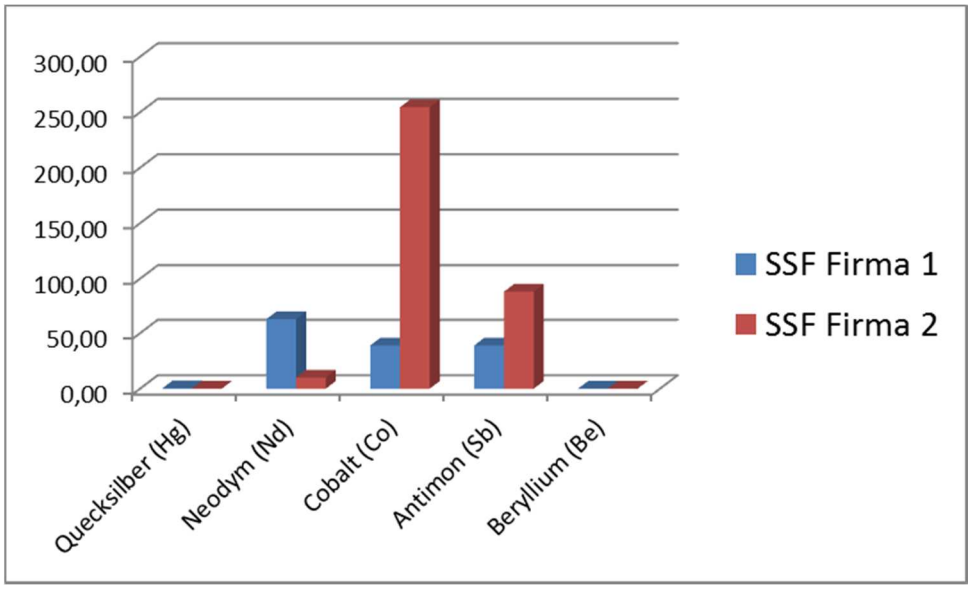


Abbildung 63: Vergleich der Mittelwerte der Elemente geringer Konzentration in der SSF beider Firmen, in mg/kg



3.8 Untersuchungen Schredderleichtfraktion (Probe 4)

3.8.1 Probenvorbereitung und Vorgehen SLF

Die Probenahme der Schredderleichtfraktion (SLF) erfolgte, wie in Kapitel 3.3 beschrieben.

Zur Probenvorbereitung wurden von den SLF-Proben, die ca. 10-13 kg wogen, in 7 Korngrößen klassiert. Aus den vier gröberen Korngrößenfraktionen (siehe Tabelle 122, links) wurden die Materialfraktionen Aluminium, Eisen, Sonstiges (Kupfer und Drähte), Kunststoff und Glas aussortiert, die für eine Homogenisierung als Störstoffe gelten und mittels Waage verwogen.

Tabelle 122: Korngrößen der SLF-Klassierung

Gröbere Korngrößen (manuelle Sortierung in Materialfraktionen)	Feinere Korngrößen (Untersuchung von 1/10 der Gesamtmasse)
> 90 mm	> 5 mm bis 10 mm
> 31,5 mm bis 90 mm	> 2 mm bis 5 mm
> 22,4 mm bis 31,5 mm	bis 2 mm
> 10 mm bis 22,4 mm	

Für den Bereich < 10 mm (siehe Tabelle 122, rechts) wurde aus der Gesamtfraktion aus allen Anteilen eine Teilprobe von 1/10 der ursprünglichen Masse entnommen und als Stellvertreterprobe detaillierter untersucht.

In jeder Korngröße wurde zuerst der Glasanteil optisch durch drei Personen der Probenvorbereitungsabteilung des Labors geschätzt. Vom Rest wurde der Glühverlust als Maß für Kunststoffe/ Elastomere bestimmt. Der verbleibende Anteil wurde in einer Differenzbetrachtung der Nicht-Glas-Mineralikfraktion zugeordnet.

Die nachfolgende Herstellung der Analysenprobe für die chemischen Untersuchungen wird nachfolgend erläutert:

a) Zunächst wurden aus der Fraktion > 10 mm alle Kupfer-, Eisen- und Aluminiumstücke aussortiert, da sie für die notwendige Homogenisierung nicht weiter zerkleinerbar sind.

b) Anschließend wurde die nun von Metallstücken befreite Fraktion > 10 mm mit einer Schneidmühle auf die Korngröße 10 mm zerkleinert und mit der Fraktion < 10 mm vereinigt. Damit erhält man nach der durchgeführten Klassierung eine nur um die entnommenen Metallstücke reduzierte Gesamtprobe SLF < 10 mm.
c) Nach Homogenisierung dieser um die Metallstücke verminderten Gesamtprobe wurde 1/10 der Materialmenge als Laborprobe für die chemische Analyse entnommen und in mehreren Schritten ebenfalls mit einer Schneidmühle auf die Endgröße von 0,5 mm zerkleinert und der Analytik zugeführt. Ausnahme war der Parameter BTEX, der aus dem methanolüberschichteten Probenglas analysiert wurde.

Da der Anteil der vorab abgetrennten Störstoffe (Kupfer, Eisen und Aluminium) in der späteren Analytik fehlt, muss er rechnerisch berücksichtigt werden, da der Gesamtgehalt in der Shredderleichtfraktion (also inklusive Störstoffe) von Interesse ist. Dies kann jedoch doch nur summarisch für die SLF erfolgen (Aluminium und Eisen wurden nicht chemisch analysiert). Neben der detaillierten tabellarischen Darstellung der Kupfergehalte wird zusätzlich die ausgelesene Kupferfraktion als Mittelwert angegeben.

Einige der sortierten Fraktionen sind in Abbildung 64 bis Bildquelle: Wessling
Abbildung 67 beispielhaft dargestellt, die aufbereitete Laborprobe für die chemische Analytik in Bildquelle: Wessling

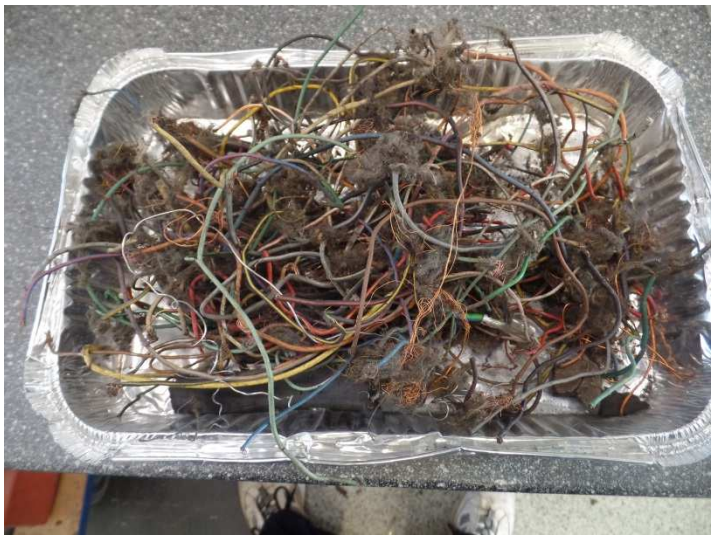
Abbildung 68.

Abbildung 64: Fraktion Aluminium, ausgelesen aus der SLF (Probe 4) der Firma 1



Bildquelle: Wessling

Abbildung 65: Ausgelesenes Sonstiges (Kupferdrähte) aus SLF (Probe 4) > 90 mm der Firma 1



Bildquelle: Wessling

Abbildung 66: Ausgelesenes Glas und Mineralik aus SLF (Probe 4) > 5 mm bis 10 mm der Firma 1



Bildquelle: Wessling

Abbildung 67: Ausgelesenes Glas und Mineralik aus SLF (Probe 4) > 2 mm bis 5 mm der Firma 1



Bildquelle: Wessling

Abbildung 68: Laborprobe SLF (Probe 4) für die chemische Analytik nach Zerkleinerung auf < 0,5 mm der Firma 1



Bildquelle: Wessling

3.8.2 SLF (Probe 4) Firma 1

Bei der untersuchten Schredderleichtfraktion der Firma 1 (< 180 mm) handelt es sich um eine Fraktion, die direkt am Schredder anfällt. Sie stellt bei Firma 1 ein Zwischenprodukt dar (siehe Abbildung 27). Diese Schredderleichtfraktion wird in der Post-Schredder-Behandlung weiter aufbereitet.

3.8.2.1 Anteilermittlung und Korngrößenverteilung

Für die Ermittlung der Materialzusammensetzung und der Kornverteilung wurden aus der SLF die entsprechenden Fraktionen separiert und verwogen. Nach Entnahme der für die Probenvorbereitung als Störstoffe betrachteten Metallteile von ca. 5 % (Aluminium, Kupferdrähte und Eisen) erfolgte die Zerkleinerung der Laborproben für die chemischen Analysen.

Die Ergebnisse der Anteils- und Korngrößenermittlung für die Schredderleichtfraktion (SLF) der Firma 1 sind in Tabelle 123 für die drei Probenkisten und die Gesamtprobe und in Tabelle 124 sowie in Abbildung 69 und Abbildung 70 für die Gesamtprobe dargestellt.

Tabelle 123: Ergebnis der Sortieranalyse SLF (Probe 4) Firma 1

Bestandteil	Probe 4.1	Probe 4.2	Probe 4.3	Probe 4 gesamt
Kunststoffe und Elastomere	74,04 %	74,71 %	72,58 %	73,82 %
Glas	11,43 %	8,24 %	12,06 %	10,58 %
Nicht-Glas-Mineralik	10,14 %	12,15 %	10,52 %	10,91 %
Al	1,37 %	0,83 %	0,80 %	1,02 %
FE	0,52 %	1,10 %	1,10 %	0,89 %
Sonstiges (Kupferdrähte)	2,49 %	2,99 %	2,94 %	2,79 %
Summe in kg	**13,35**	**11,875**	**11,059**	**36,284**

Die Ergebnisse der Sortieranalyse zeigen eine recht hohe Homogenität der ermittelten Bestandteile der Schredderleichtfraktion. Hauptfraktion ist hier im Unterschied zur SSF die Fraktion Kunststoffe und Elastomere mit ca. 75 %.

Abbildung 69: Materialzusammensetzung der SLF (Probe 4) Firma 1 aus der Sortieranalyse

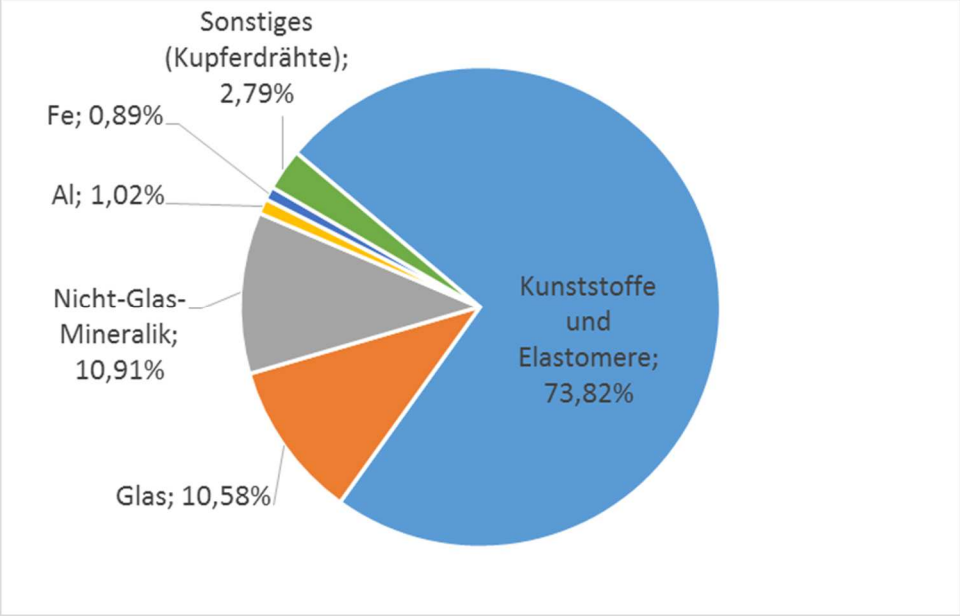


Tabelle 124: Ergebnis Sortier- und Korngrößenanalyse SLF (Probe 4) der Firma 1: Verteilung der Probe insgesamt und der einzelnen Materialfraktionen auf die Korngrößenbereiche (Massenanteile)

Körnung	Anteil Gesamtfraktion	Glas	Nicht-Glas-Mineralik	Kunststoffe, Elastomere	Fe	Al	Sonstiges (Cu-Drähte)
> 90 mm	30,6 %	0,0 %	0,0 %	36,8 %	50,2 %	59,5 %	85,2 %
> 31,5 – 90 mm	20,2 %	0,0 %	0,0 %	26,2 %	35,5 %	12,7 %	14,8 %
> 22,4 – 31,5 mm	8,7 %	0,0 %	0,0 %	11,5 %	8,4 %	11,3 %	0,0 %
> 10 – 22,4 mm	11,1 %	5,6 %	0,0 %	14,0 %	6,0 %	14,4 %	0,0 %

Körnung	Anteil Gesamtfraktion	Glas	Nicht-Glas-Mineralik	Kunststoffe, Elastomere	Fe	Al	Sonstiges (Cu-Drähte)
> 5 - 10 mm	6,3 %	1,6 %	29,9 %	3,9 %	0,0 %	2,1 %	0,0 %
> 2 - 5 mm	9,8 %	40,6 %	24,1 %	3,9 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
bis 2 mm	13,3 %	52,3 %	46,1 %	3,8 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Den größten Korngrößenanteil stellt die Fraktion > 90 mm dar. Glas und Mineralik kommen nur in den feineren Fraktionen vor, Kupferdrähte in den beiden größten Fraktionen.

Abbildung 70: Korngrößenanteile der Gesamtfraktion SLF (Probe 4) der Firma 1

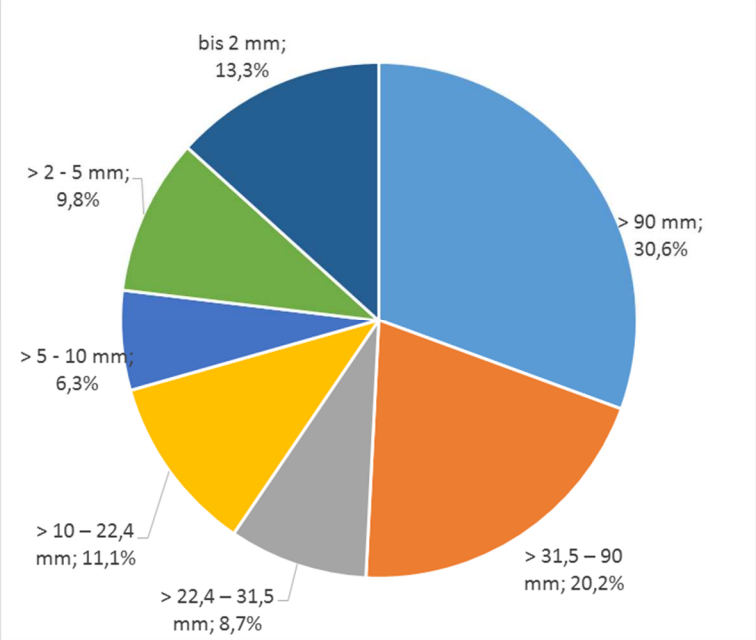
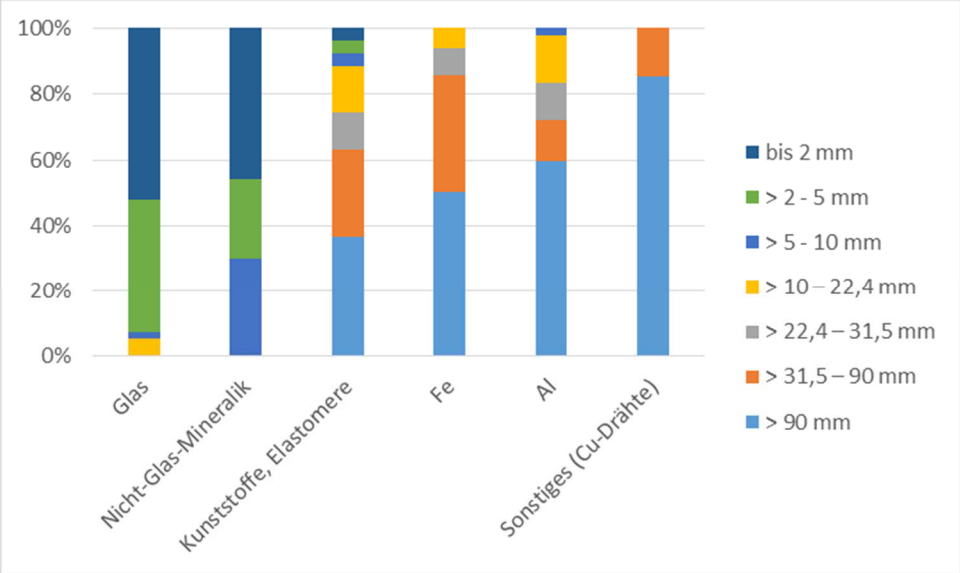


Abbildung 71: Verteilung der Materialfraktionen SLF (Probe 4) der Firma 1 auf die Korngrößen



3.8.2.2 Chemische Untersuchungen und Ergebnisse SLF (Probe 4) der Firma 1

Die Untersuchungsergebnisse der SLF (Probe 4) der Firma 1 für die chemischen Untersuchungsparameter (allgemeinen Parameter und Metalle) als Doppelbestimmung sind in Tabelle 125 dargestellt, inklusive der vorab abgetrennten Metalle (siehe Tabelle 123). Die Repräsentativitätstest sind in Tabelle 126 ausgewertet. Die Ergebnisse der Analytik und Repräsentativitätstests der organischen Schadstoffe sind in Tabelle 135 und Tabelle 136 dargestellt.

Tabelle 125: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SLF (Probe 4) inklusive der vorab separierten Metalle(*) (ca. 4,7 %) Firma 1

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SLF Probe 4.1.a	SLF Probe 4.1.b	SLF Probe 4.2.a	SLF Probe 4.2.b	SLF Probe 4.3.a	SLF Probe 4.3.b	SLF Probe 4 (Mittelwert)	SLF Probe 4 (Median)
Gesamtwassergehalt Originalprobe	Gew %	OS	1,4	1,5	1,2	1,3	1,6	1,7	1,5	
Trockenrückstand	Gew %	OS	98,6	98,5	98,8	98,7	98,4	98,3	98,6	
Glühverlust (550°C)	Gew %	TS	64	67,2	64,2	62,6	61,5	62,6	63,7	
Totaler org. Kohlenstoff (TOC)	Gew %	TS	34	36	44	39	41	25	37	
Ag	mg/kg	TS	9,2	2,5	7,7	2,3	4,9	3,4	5,0	
Al* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg								10.200	
Au	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Be	mg/kg	TS	0,1	0,14	0,1	0,11	0,11	0,10	0,11	
Cd	mg/kg	TS	1,7	1,6	1,2	1,5	0,88	0,87	1,3	
Co	mg/kg	TS	9,3	10	17	16	12	12	13	
Cr	mg/kg	TS	100	110	450	510	170	180	250	
Cu (aus Messung)	mg/kg	TS	9.600	3500	5.300	1.800	8.900	1.900	5.200	
Cu* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg								28.000	
Fe* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg								8.900	
Hg	mg/kg	TS	0,08	0,07	0,06	0,07	0,06	< 0,03	0,07	
Nd	mg/kg	TS	18	22	24	18	17	16	19	
Ni	mg/kg	TS	550	120	190	190	120	130	220	
Pb	mg/kg	TS	660	590	470	710	8.000	9.100	3.260	685
Pd	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Sb	mg/kg	TS	380	180	61	83	430	500	272	
Sn	mg/kg	TS	110	120	79	81	100	110	100	
Ta	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SLF Probe 4.1.a	SLF Probe 4.1.b	SLF Probe 4.2.a	SLF Probe 4.2.b	SLF Probe 4.3.a	SLF Probe 4.3.b	SLF Probe 4 (Mittelwert)	SLF Probe 4 (Median)
Zn	mg/kg	TS	6.900	5.000	3.200	4.000	6.600	7.100	5.500	
Cl_{gesamt}	Gew %	TS	0,56	0,43	0,99	0,87	1,6	1,5	0,99	
Br_{gesamt}	Gew %	TS	< 0,010	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,011	< 0,008	< 0,01	

Anmerkungen:
OS Originalsubstanz, TS Trockensubstanz
* Kupfer-, Eisen- und Aluminiumanteil aus Störstoffentnahme als Mittelwert angegeben, siehe Tabelle 123.

Die Untersuchungen zeigen die erwartbaren Elementkonzentrationen. Bezieht man die Mengen aus der Störstoffentfernung vor der chemischen Analyse mit ein, zeigt sich auch in der SLF ein hoher Kupfergehalt. Die Bleigehalte weisen sehr deutliche Variationen zwischen den einzelnen Analysen auf.

3.8.2.3 Ergebnisse des Repräsentativitätstest SLF Firma 1

Anhand der Ergebnisse der Doppelbestimmungen der drei SLF-Mischproben wurde der Repräsentativitätstest wie in Kapitel 3.7.1.3 beschrieben durchgeführt. In Tabelle 124 erkennt man, in welchen Spannweiten/Bereichen sich die Gehalte bewegen. Der Mittelwert ist belastbarer als jeder Einzelwert. In Tabelle 126 sind alle Ergebnisse der Repräsentativitätstests aufgeführt. Für jeden der dort dargestellten Parameter existiert ein gesondertes Blatt mit dem Test (siehe Beispiel in Abbildung 53). Falls die aus den 6 Messdaten ermittelte erweiterte relative Messunsicherheit U größer als 30 % ist, wird das Ergebnis als nicht repräsentativ gewertet.

Tabelle 126: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SLF (Probe 4) der Firma 1

Parameter	Einheit	Mittelwert	Urel. (%)	Verhältnis S_P/S_A	Probenahme war	Probenahme und Analytik sind
Gesamtwassergehalt Originalprobe	Gew %	1,4	11,3	2,5	repräsentativ	repräsentativ
Glühverlust (550°C)	mg/kg TS	60,7	2,7	1,1	repräsentativ	repräsentativ
Totaler org. Kohlenstoff (TOC)	Gew %	34,8	14,6	0,6	repräsentativ	repräsentativ
Ag	mg/kg TS	4,8	46,8	0,2	repräsentativ	nicht repräsentativ
Au	mg/kg TS	n.b.				
Be	mg/kg TS	0,11	9,5	0,6	repräsentativ	repräsentativ
Cd	mg/kg TS	1,2	24	2,6	repräsentativ	repräsentativ
Co	mg/kg TS	205	64,8	0,5	repräsentativ	nicht repräsentativ
Cr	mg/kg TS	240	57,7	7,1	nicht repräsentativ	nicht repräsentativ
Cu	mg/kg TS	4.920	54,5	0,3	repräsentativ	nicht repräsentativ
Hg	mg/kg TS	0,06	22,8	1	repräsentativ	repräsentativ
Nd	mg/kg TS	18,2	2,6	0,7	repräsentativ	repräsentativ
Ni	mg/kg TS	205	65	0,5	repräsentativ	nicht repräsentativ
Pb	mg/kg TS	3.110	103	8,9	nicht repräsentativ	nicht repräsentativ
Pd	mg/kg TS	n.b.				
Sb	mg/kg TS	260	56,4	2	repräsentativ	nicht repräsentativ
Sn	mg/kg TS	95,3	13,9	2,7	repräsentativ	repräsentativ
Ta	mg/kg TS	n.b.				
Zn	mg/kg TS	5.220	25	1,8	repräsentativ	repräsentativ
Cl_{gesamt}	Gew %	0,99	38,6	5,4	nicht repräsentativ	nicht repräsentativ
Br_{gesamt}	Gew %	n.b.				

Anmerkungen:
Die Probenahme ist repräsentativ, wenn das Streuungsverhältnis zwischen Probennahme und Analyse $s_P/s_A < 3$ beträgt.
Die Probenahme und Analytik sind insgesamt repräsentativ, wenn die relative erweiterte Gesamtunsicherheit $U_{rel} < U_{tol} = 30$ % ist.
Bei Gehalten der Analysenparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) wurde kein Repräsentativitätstest durchgeführt. In Tabelle 121 sind diese Analysenparameter mit der Abkürzung n.b. für „nicht bestimmbar“ dargestellt.

Die Sortieranalyse zeigte bei Firma 1 relativ homogene Ergebnisse (Tabelle 123). Dazu passend ist die Beobachtung, dass für fast alle Parameter die Probenahme als repräsentativ bezeichnet werden konnte (siehe Tabelle 126).

Die Probenahme wird als repräsentativ ausgewiesen, wenn sich die Ergebnisse zwischen den Mischproben (Probenkisten) nicht stark unterscheiden. Andernfalls hätten noch weitere Mischproben gezogen und untersucht werden müssen.

Die teilweise recht großen Streuungen bei einigen Parametern, die zur Einstufung von Probennahme und Analytik als nicht repräsentativ führen, rühren oft von einzelnen Extremwerten her, die reale Messwerte und daher keinesfalls als Ausreißer zu werten sind, auch wenn sie statistisch so wirken. Insofern zeigt sich doch die erwartete starke Heterogenität der SLF.

3.8.3 SLF (Probe 4) Firma 2

3.8.3.1 Anteilermittlung und Korngrößenverteilung

Für die Ermittlung der Materialzusammensetzung und der Kornverteilung wurden aus der SLF die entsprechenden Fraktionen separiert und verwogen. Nach Entnahme der für die Probenvorbereitung als Störstoffe betrachteten Metallteile von ca. 6 % (Aluminium, Kupferdrähte und Eisen) erfolgte die Zerkleinerung der Laborproben für die chemischen Analysen.

Die Ergebnisse der Anteils- und Korngrößenermittlung für die Schredderleichtfraktion (SLF) der Firma 2 sind in Tabelle 127 und Tabelle 128 dargestellt.

Tabelle 127: Ergebnis der Sortieranalyse SLF der Firma 2

Bestandteil	Probe 4.1	Probe 4.2	Probe 4.3	Probe 4 gesamt
Kunststoffe und Elastomere	72,26 %	77,14 %	73,01 %	73,98 %
Glas	5,28 %	3,68 %	3,85 %	4,32 %
Mineralik	16,56 %	13,85 %	16,34 %	15,70 %
Al	0,90 %	0,83 %	0,76 %	0,83 %
Fe	1,83 %	0,98 %	2,12 %	1,68 %
Sonstiges (Kupferdrähte)	3,06 %	3,52 %	3,96 %	3,50 %
Summe in kg	10,25	8,55	9,65	28,45

Abbildung 72: Materialzusammensetzung der SLF Firma 2

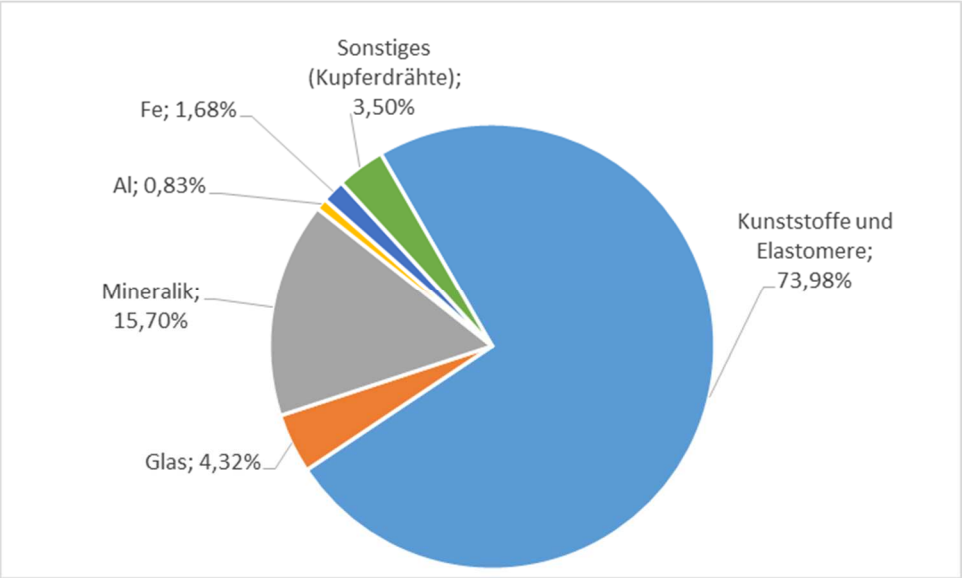


Tabelle 128: Ergebnis Sortier- und Korngrößenanalyse SLF (Probe 4) der Firma 2: Verteilung der Probe insgesamt und der einzelnen Materialfraktionen auf die Korngrößenbereiche (Massenanteile)

Körnung	Anteil Gesamtfraktion	Glas	Mineralik	Kunststoffe, Elastomere	Fe	Al	Sonstiges (Cu-Drähte)
> 90 mm	12,0 %	0,0 %	0,0 %	14,1 %	78,0 %	26,3 %	1,0 %
> 31,5 – 90 mm	31,2 %	0,0 %	0,0 %	37,4 %	19,7 %	51,3 %	80,7 %
> 22,4 – 31,5 mm	12,6 %	0,0 %	0,0 %	15,9 %	2,3 %	22,5 %	18,3 %
> 10 – 22,4 mm	13,7 %	0,0 %	0,0 %	18,5 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
> 5 – 10 mm	6,6 %	1,9 %	14,0 %	5,8 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
> 2 – 5 mm	7,8 %	23,4 %	27,5 %	3,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
bis 2 mm	16,1 %	74,8 %	58,5 %	5,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

Abbildung 73: Korngrößenanteile der Gesamtfraktion SLF (Probe 4) der Firma 2

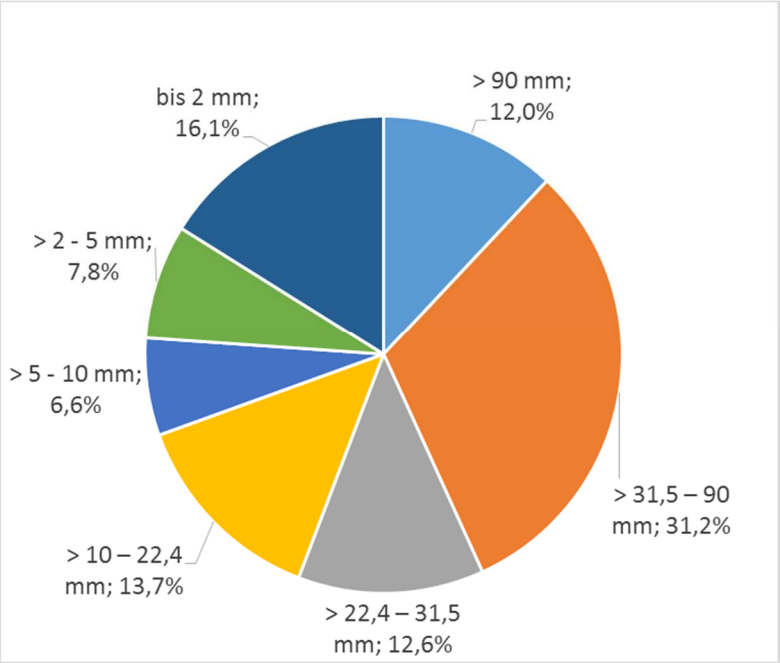
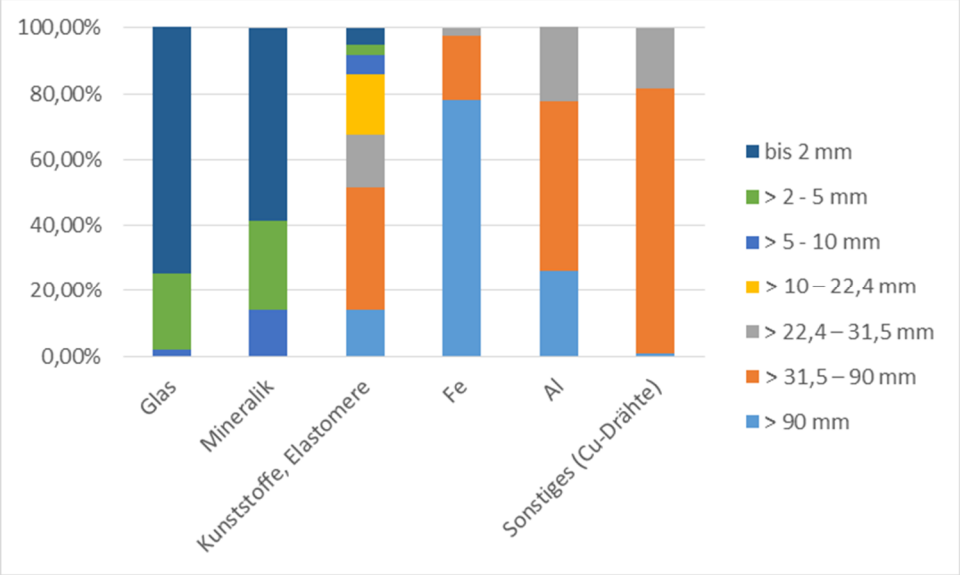


Abbildung 74: Verteilung der Materialfraktionen SLF (Probe 4) der Firma 2 auf die Korngrößen



Die ermittelte Schüttdichte für SLF, die eine Korngröße < 180 mm aufwies, betrug 173 g/l.

3.8.3.2 Chemische Untersuchungen und Ergebnisse SLF (Probe 4) der Firma 2

Die Untersuchungsergebnisse der SLF der Firma 2 für die allgemeinen Parameter und Metalle als Resultate der Doppelbestimmungen sind in Tabelle 129 dargestellt, inklusive der vorab abgetrennten Metalle (siehe Tabelle 127). Die Repräsentativitätstest sind in Tabelle 130 ausgewertet. Die Ergebnisse der Analytik und Repräsentativitätstests der organischen Schadstoffe sind in Tabelle 137 und Tabelle 138 dargestellt.

Tabelle 129: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SLF (Probe 4), inklusive der vorab separierten Metalle(*) (ca. 6 %) Firma 2

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SLF Probe 4.1.a	SLF Probe 4.1.b	SLF Probe 4.2.a	SLF Probe 4.2.b	SLF Probe 4.3.a	SLF Probe 4.3.b	SLF Probe 4 (Mittelwert)
Gesamtwassergehalt Originalprobe	Gew %	OS	1,8	1,5	1,4	1,2	1,5	1,8	1,5
Trockenrückstand	Gew %	OS	98,2	98,5	98,6	98,8	98,5	98,2	98,5
Glühverlust (550°C)	Gew %	TS	58	57,4	61,6	56	54,7	48,2	56,0
Totaler org. Kohlenstoff (TOC)	Gew %	TS	23	30	28	21	24	20	24
Ag	mg/kg	TS	6,1	8,3	9,4	8,1	6,2	13	8,5
Al* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg								8.300
Au	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Be	mg/kg	TS	0,95	1,2	1,2	1	0,85	0,85	1,01
Cd	mg/kg	TS	2,6	2,2	9,9	12	2,4	2,6	5,3
Co	mg/kg	TS	270	240	220	160	170	230	215
Cr	mg/kg	TS	170	190	330	290	180	170	220
Cu (aus Messung)	mg/kg	TS	14.000	1.700	21.000	1.900	3.500	7.000	8.200
Cu* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg								35.000
Fe* (aus Störstoffentnahme)	mg/kg								16.800
Hg	mg/kg	TS	0,06	0,09	0,08	0,11	0,15	0,15	0,11
Nd	mg/kg	TS	31	31	15	28	23	21	25
Ni	mg/kg	TS	170	180	160	190	150	150	170
Pb	mg/kg	TS	1.200	1.200	2.600	2.500	670	730	1.480
Pd	mg/kg	TS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Sb	mg/kg	TS	0,14	0,11	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12
Sn	mg/kg	TS	140	130	200	160	160	200	165
Ta	mg/kg	TS	11	11	< 10	11	11	21	13

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SLF Probe 4.1.a	SLF Probe 4.1.b	SLF Probe 4.2.a	SLF Probe 4.2.b	SLF Probe 4.3.a	SLF Probe 4.3.b	SLF Probe 4 (Mittelwert)
Zn	mg/kg	TS	8.500	8.900	8.500	8.100	7.900	8.800	8.500
Cl_{gesamt}	Gew %	TS	0,95	1,2	1,2	1	0,85	0,85	1,01
Br_{gesamt}	Gew %	TS	0,009	0,019	0,017	0,03	0,012	0,02	0,018

Anmerkungen:
OS Originalsubstanz, TS Trockensubstanz
* Kupfer-, Eisen- und Aluminiumanteil aus Störstoffentnahme als Mittelwert angegeben.

3.8.3.3 Ergebnisse des Repräsentativitätstest SLF (Probe 4) Firma 2

Die Ergebnisse der einzelnen Repräsentativitätstests sind in Tabelle 130 aufgeführt.

Tabelle 130: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SLF Probe 4 (Firma 2)

Parameter	Einheit	Mittelwert	Urel. (%)	Verhältnis S_P/S_A	Probenahme ist	Probenahme und Analytik sind
Gesamtwassergehalt Originalprobe	Gew %	1,4	13,3	0,9	repräsentativ	repräsentativ
Glühverlust (550°C)	mg/kg TS	52,7	7	1,1	repräsentativ	repräsentativ
Totaler org. Kohlenstoff (TOC)	Gew %	23	13,1	0,5	repräsentativ	repräsentativ
Ag	mg/kg TS	8,0	24,1	0,4	repräsentativ	repräsentativ
Au	mg/kg TS	n.b.				
Be	mg/kg TS	0,11	8,8	0,4	repräsentativ	repräsentativ
Cd	mg/kg TS	5	69,5	5,1	nicht repräsentativ	nicht repräsentativ
Co	mg/kg TS	23,4	21	0,9	repräsentativ	repräsentativ
Cr	mg/kg TS	210	26,4	3,7	nicht repräsentativ	repräsentativ
Cu	mg/kg TS	7.710	78	0,3	repräsentativ	nicht repräsentativ
Hg	mg/kg TS	0,10	27,3	2,8	repräsentativ	repräsentativ
Nd	mg/kg TS	13	27,3	0,7	repräsentativ	repräsentativ
Ni	mg/kg TS	157	8,4	1,1	repräsentativ	repräsentativ
Pb	mg/kg TS	1.400	48	18,3	nicht repräsentativ	nicht repräsentativ
Pd	mg/kg TS	n.b.				
Sb	mg/kg TS	202	16,1	0,9	repräsentativ	repräsentativ
Sn	mg/kg TS	155	14,5	1,0	repräsentativ	repräsentativ
Ta	mg/kg TS	n.b.				
Zn	mg/kg TS	7.950	3,8	0,5	repräsentativ	repräsentativ
Cl_{gesamt}	Gew %	1,01	13,5	1,0	repräsentativ	repräsentativ
Br_{gesamt}	Gew %	0,02	34,2	0,6	repräsentativ	nicht repräsentativ

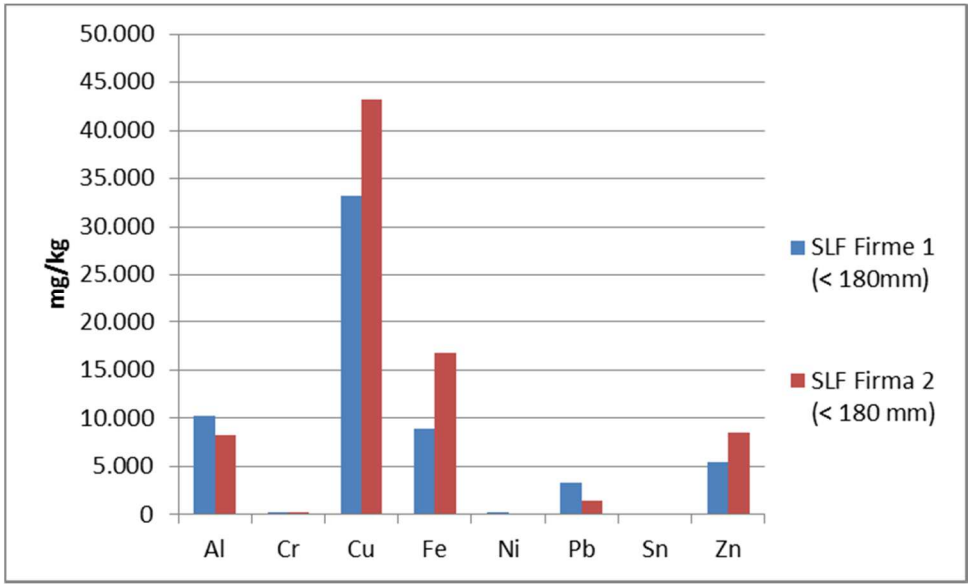
Anmerkungen:
Die Probenahme ist repräsentativ, wenn das Streuungsverhältnis zwischen Probennahme und Analyse $s_p/s_A < 3$ beträgt.
Die Probenahme und Analytik sind insgesamt repräsentativ, wenn die relative erweiterte Gesamtunsicherheit $U_{rel} < U_{tol} = 30$ % ist.
Bei Gehalten der Analysenparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) wurde kein Repräsentativitätstest durchgeführt. In Tabelle 121 sind diese Analysenparameter mit der Abkürzung n.b. für „nicht bestimmbar“ dargestellt.

Bei der SLF der Firma 2 finden sich im Vergleich zur Firma 1 SLF (Tabelle 126) weniger Elemente mit erweiterten Messunsicherheiten größer als 30 %.

3.8.4 Fazit SLF

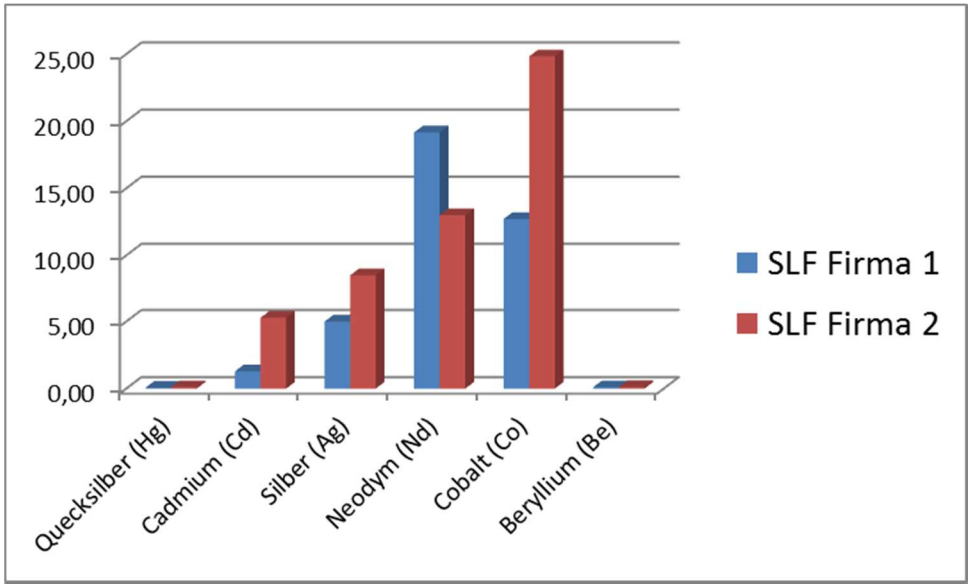
Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass in der SLF-Fraktion bei der Firma 1 die Gehalte der Elemente Blei und Neodym und bei der Firma 2 der Elemente Kupfer, Eisen, Zink, Cadmium, Silber und Kobalt größer als bei der jeweils anderen Firma sind (siehe auch Abbildung 75 und Abbildung 76).

Abbildung 75: Vergleich der Mittelwerte Elemente höherer Konzentration SLF der Firma 1 und der Firma 2



Quelle: Datengrundlage Wessling, eigene Darstellung.

Abbildung 76: Vergleich der Mittelwerte Elemente geringer Konzentration SLF der Firma 1 und der Firma 2, in mg/kg



Quelle: Datengrundlage Wessling, eigene Darstellung.

Die Untersuchungen zeigen die erwartbaren Elementkonzentrationen. Für Kupfer ist ein hoher Gehalt von 3,3 % bzw. 4,3 % festzustellen. Die Bleigehalte weisen sehr deutliche Variationen zwischen den einzelnen Analysen auf.

3.9 Untersuchungen zu organischen Schadstoffen in SSF und SLF

Die folgenden Tabelle 131 bis Tabelle 138 beschreiben die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen zu organischen Schadstoffen und verbundenen anderen Parametern (wie z. B. Gesamtbromgehalt) der SSF (Probe 3) und SLF (Probe 4) der beiden Firmen.

Die SLF (Probe 4) und SSF (Probe 3) wurden auf PBDE als bromierte Flammschutzmittel untersucht, die teilweise in der POP-VO reguliert sind (Tetra- bis Hepta-BDE).

Bei der Interpretation der Daten ist Folgendes zu beachten:

- Die Auswertung zu den bromierten Flammschutzmitteln steht unter der Einschränkung, dass zwar die Probenahme repräsentativ, jedoch die Probenahme und Analytik teilweise nicht repräsentativ waren.
- Darüber hinaus ist die Analytik für einige Parameter bisher nicht eindeutig genormt.
- Schließlich handelt es sich bei den untersuchten Fraktionen der SSF und SLF um betriebsinterne Zwischenfraktionen, die in dieser Form nicht zur Entsorgung abgegeben werden, sondern anschließend weiteren Aufbereitungsschritten unterzogen werden.

Fazit: Die PBDE-Untersuchungsergebnisse können lediglich als erste Anhaltspunkte für PBDE-Gehalte von SSF- und SLF-Fraktionen dienen.

Tabelle 131: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SSF der Firma 1

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SSF Probe 3.1.a	SSF Probe 3.1.b	SSF Probe 3.2.a	SSF Probe 3.2.b	SSF Probe 3.3.a	SSF Probe 3.3.b	SSF Probe 3 (Mittelwert)
Glühverlust (550°C)	Gew %	TS	13,8	18	15	13,9	20,5	14	15,9
Tetrabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Pentabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Hexabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Heptabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Octabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Nonabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Decabromdiphenylether (BDE 209)	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Summe nachgewiesener BTEX	mg/kg	TS	129	32	39,3	42,4	73,7	57,6	62
Summe der 7 PCB	mg/kg	TS	0,56	0,56	0,51	0,47	0,54	0,54	0,53
Summe nachgewiesener PAK	mg/kg	TS	7	9,4	7	7,9	7,9	9,2	8,1
Br_{gesamt}	Gew %	TS	< 0,005	0,008	< 0,007	< 0,007	< 0,013	< 0,012	< 0,009

Tabelle 132: Übersicht der Ergebnisse des Repräsentativitätstests SSF der Firma 1

Parameter	Einheit	Mittelwert	Urel. (%)	Verhältnis S_P/S_A	Probenahme war	Probenahme und Analytik sind
Glühverlust (550°C)	mg/kg TS	15,9	14,3	0,4	repräsentativ	repräsentativ
Tetrabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Pentabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Hexabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Heptabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Octabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				

Parameter	Einheit	Mittelwert	Urel. (%)	Verhältnis S_P/S_A	Probenahme war	Probenahme und Analytik sind
Nonabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Decabromdiphenylether (BDE 209)	mg/kg TS	n.b.				
Summe nachgewiesener BTEX	mg/kg TS	62,3	47,1	0,4	repräsentativ	nicht repräsentativ
Summe der 7 PCB	mg/kg TS	0,5	5,3	2	repräsentativ	repräsentativ
Summe nachgewiesener PAK	mg/kg TS	8,1	10,5	0,4	repräsentativ	repräsentativ
Br_{gesamt}	Gew %	n.b.				

Tabelle 133: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SSF der Firma 2

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SSF Probe 3.1.a	SSF Probe 3.1.b	SSF Probe 3.2.a	SSF Probe 3.2.b	SSF Probe 3.3.a	SSF Probe 3.3.b	SSF Probe 3 (Mittelwert)	SSF Probe 3 (Median)
Glühverlust (550°C)	Gew %	TS	27,6	26,5	18,7	23,3	19	20,9	22,7	
Tetrabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Pentabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Hexabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Heptabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Octabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Nonabromdiphenylether	mg/kg	OS	19	12	< 10	< 10	39	18	18	15
Decabromdiphenylether (BDE 209)	mg/kg	OS	530	150	25	25	1.200	500	410	325
Summe nachgewiesener BTEX	mg/kg	TS	43,1	46,6	31,8	26,9	131	358	106	45
Summe der 7 PCB	mg/kg	TS	0,15	0,15	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	
Summe nachgewiesener PAK	mg/kg	TS	8,6	9,6	10,6	10,2	10,1	11,1	10,0	
Br_{gesamt}	Gew %	TS	< 0,008	< 0,009	0,01	0,05	0,03	0,017	0,027	0,023

Hinweis:
OS Originalsubstanz, TS Trockensubstanz, L-TS Lufttrockensubstanz

Tabelle 134: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SSF (Probe 3) der Firma 2

Parameter	Einheit	Mittelwert	Urel. (%)	Verhältnis sp/sA	Probenahme war	Probenahme und Analytik sind
Glühverlust (550°C)	mg/kg TS	22,7	13,6	1,6	repräsentativ	repräsentativ
Tetrabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Pentabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Hexabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Heptabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Octabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Nonabromdiphenylether	mg/kg TS	18	50	0,9	repräsentativ	nicht repräsentativ
Decabromdiphenylether (BDE 209)	mg/kg TS	405	91	1,1	repräsentativ	nicht repräsentativ
Summe nachgewiesener BTEX	mg/kg TS	106	99	1,2	repräsentativ	nicht repräsentativ
Summe der 7 PCB	mg/kg TS	0,07	72	76	nicht repräsentativ	nicht repräsentativ
Summe nachgewiesener PAK	mg/kg TS	10	7	1,2	repräsentativ	repräsentativ
Br_{gesamt}	Gew %	0,027	65	0,6	repräsentativ	nicht repräsentativ

Anmerkungen:
Die Probenahme ist repräsentativ, wenn das Streuungsverhältnis zwischen Probennahme und Analyse $s_P/s_A < 3$ beträgt.
Die Probenahme und Analytik sind insgesamt repräsentativ, wenn die relative erweiterte Gesamtunsicherheit $U_{rel} < U_{tol} = 30$ % ist.
Bei Gehalten der Analysenparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) wurde kein Repräsentativitätstest durchgeführt. In der Tabelle sind diese Analysenparameter mit der Abkürzung n.b. für „nicht bestimmbar“ dargestellt.

Tabelle 135: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SLF (Probe 4) ohne separierte Metalle (ca. 4,7 %) Firma 1

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SLF Probe 4.1.a	SLF Probe 4.1.b	SLF Probe 4.2.a	SLF Probe 4.2.b	SLF Probe 4.3.a	SLF Probe 4.3.b	SLF Probe 4 (Mittelwert)	SLF Probe 4 (Median)
Glühverlust (550°C)	Gew %	TS	64	67,2	64,2	62,6	61,5	62,6	63,7	
Tetrabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Pentabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Hexabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SLF Probe 4.1.a	SLF Probe 4.1.b	SLF Probe 4.2.a	SLF Probe 4.2.b	SLF Probe 4.3.a	SLF Probe 4.3.b	SLF Probe 4 (Mittelwert)	SLF Probe 4 (Median)
Heptabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Octabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Nonabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Decabromdiphenylether (BDE 209)	mg/kg	OS	84	200	48	100	7,8	24	77	66
Summe nachgewiesener BTEX	mg/kg	TS	51,7	50,1	51,8	47,9	116	111	71	
Summe der 7 PCB	mg/kg	TS	0,23	0,07	0,04	0,04	-/-	-/-	0,10	
Summe nachgewiesener PAK	mg/kg	TS	14,4	12,6	4,8	6,2	9,9	9	9,5	
Br_{gesamt}	Gew %	TS	< 0,010	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,011	< 0,008	< 0,01	

Anmerkungen:
OS Originalsubstanz, TS Trockensubstanz

Tabelle 136: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SLF Probe 4 (Firma 1)

Parameter	Einheit	Mittelwert	Urel. (%)	Verhältnis S_P/S_A	Probenahme war	Probenahme und Analytik sind
Glühverlust (550°C)	mg/kg TS	60,7	2,7	1,1	repräsentativ	repräsentativ
Tetrabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Pentabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Hexabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Heptabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Octabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Nonabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Decabromdiphenylether (BDE 209)	mg/kg TS	73,7	73,4	1,1	repräsentativ	nicht repräsentativ
Summe nachgewiesener BTEX	mg/kg TS	68,1	37,3	12,3	nicht repräsentativ	nicht repräsentativ
Summe der 7 PCB	mg/kg TS	0,1	102	0,1	repräsentativ	nicht repräsentativ
Summe nachgewiesener PAK	mg/kg TS	9,1	31,6	3,4	nicht repräsentativ	nicht repräsentativ

Parameter	Einheit	Mittelwert	Urel. (%)	Verhältnis S_P/S_A	Probenahme war	Probenahme und Analytik sind
Br_{gesamt}	Gew %	n.b.				

Anmerkungen:
Die Probenahme ist repräsentativ, wenn das Streuungsverhältnis zwischen Probennahme und Analyse $s_p/s_A < 3$ beträgt.
Die Probenahme und Analytik sind insgesamt repräsentativ, wenn die relative erweiterte Gesamtunsicherheit $U_{rel} < U_{tol} = 30$ % ist.
Bei Gehalten der Analysenparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) wurde kein Repräsentativitätstest durchgeführt. In der Tabelle sind diese Analysenparameter mit der Abkürzung n.b. für „nicht bestimmbar“ dargestellt.

Tabelle 137: Übersicht Analysenergebnisse der Doppelbestimmungen SLF < 180 mm ohne separierte Metalle (ca. 6 %) Firma 2

Chemische Untersuchungsparameter	Einheit	Matrix	SLF Probe 4.1.a	SLF Probe 4.1.b	SLF Probe 4.2.a	SLF Probe 4.2.b	SLF Probe 4.3.a	SLF Probe 4.3.b	SLF Probe 4 (Mittelwert)	SLF Probe 4 (Median)
Glühverlust (550°C)	Gew %	TS	58	57,4	61,6	56	54,7	48,2	56,0	
Tetrabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< je 10	20	11	< 10	< 10	12	
Pentabromdiphenylether	mg/kg	OS	11	16	40	25	< 10	< 10	19	
Hexabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Heptabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Octabromdiphenylether	mg/kg	OS	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	
Nonabromdiphenylether	mg/kg	OS	14	15	80	50	19	16	32	17,5
Decabromdiphenylether (BDE 209)	mg/kg	OS	100	160	4.900	2.400	260	440	1.400	350
Summe nachgewiesener BTEX	mg/kg	TS	705	167	97,3	172	58,4	150	705	
Summe der 7 PCB	mg/kg	TS	0,08	0,08	0,06	0,06	0,09	0,1	0,08	
Summe nachgewiesener PAK	mg/kg	TS	18,7	17,3	20,6	18,6	13,9	14,7	17,3	
Br_{gesamt}	Gew %	TS	0,009	0,019	0,017	0,03	0,012	0,02	0,018	

Anmerkungen: OS Originalsubstanz, TS Trockensubstanz

Tabelle 138: Übersicht Ergebnisse des Repräsentativitätstests SLF Probe 4 (Firma 2)

Parameter	Einheit	Mittelwert	Urel. (%)	Verhältnis S_P/S_A	Probenahme ist	Probenahme und Analytik sind
Glühverlust (550°C)	mg/kg TS	52,7	7	1,1	repräsentativ	repräsentativ
Tetrabromdiphenylether	mg/kg TS	12	26	0,7	repräsentativ	repräsentativ
Pentabromdiphenylether	mg/kg TS	18	51	1,7	repräsentativ	nicht repräsentativ
Hexabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Heptabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Octabromdiphenylether	mg/kg TS	n.b.				
Nonabromdiphenylether	mg/kg TS	31	69	2	repräsentativ	nicht repräsentativ
Decabromdiphenylether (BDE 209)	mg/kg TS	1.300	115	1,7	repräsentativ	nicht repräsentativ
Summe nachgewiesener BTEX	mg/kg TS	212	87	0,7	repräsentativ	nicht repräsentativ
Summe der 7 PCB	mg/kg TS	0,1	13,3	2,9	repräsentativ	repräsentativ
Summe nachgewiesener PAK	mg/kg TS	16,3	12,5	2,4	repräsentativ	repräsentativ
Br_{gesamt}	Gew %	0,02	34,2	0,6	repräsentativ	nicht repräsentativ

Anmerkungen:
Die Probenahme ist repräsentativ, wenn das Streuungsverhältnis zwischen Probennahme und Analyse $s_P/s_A < 3$ beträgt.
Die Probenahme und Analytik sind insgesamt repräsentativ, wenn die relative erweiterte Gesamtunsicherheit $U_{rel} < U_{tol} = 30$ % ist.
Bei Gehalten der Analysenparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) wurde kein Repräsentativitätstest durchgeführt. In der Tabelle sind diese Analysenparameter mit der Abkürzung n. b. für „nicht bestimmbar“ dargestellt.

Die SSF (Probe 3) der Firma 1 enthält Konzentrationen der in der POP VO-regulierten bromierten Flammschutzmittel unterhalb der Nachweisgrenze. Auch der Wert für DecaBDE liegt unterhalb der Nachweisgrenze. Der Bromgehalt liegt ebenfalls unterhalb der Nachweisgrenze.

Die Situation bei der SSF (Probe 3) der Firma 2 weist hierzu lediglich den Unterschied eines DecaBDE-Wertes oberhalb der Nachweisgrenze (Mittelwert 410 mg/kg, Median 325 mg/kg) und eines Br_{gesamt}-Wertes von 0,027 Gew % auf.

Auch bei der SLF (Probe 4) der Firma 1 liegen die Werte für die in der POP VO-regulierten bromierten Flammschutzmittel unterhalb der Nachweisgrenze. Für DecaBDE sind Konzentrationen von 77 mg/kg (Mittelwert) bzw. 66 mg/kg (Median) gefunden worden. Der Wert für Br_{gesamt} lag unter Nachweisgrenze.

Bei der SLF (Probe 4) der Firma 2 liegen die Werte für die POP BDE ebenfalls unterhalb der Nachweisgrenze. Für DecaBDE sind Konzentrationen von 1.400 mg/kg (Mittelwert) bzw. 350 mg/kg (Median) gefunden worden. Der Wert für Br_{gesamt} lag mit 0,018 Gew % höher als bei Firma 1.

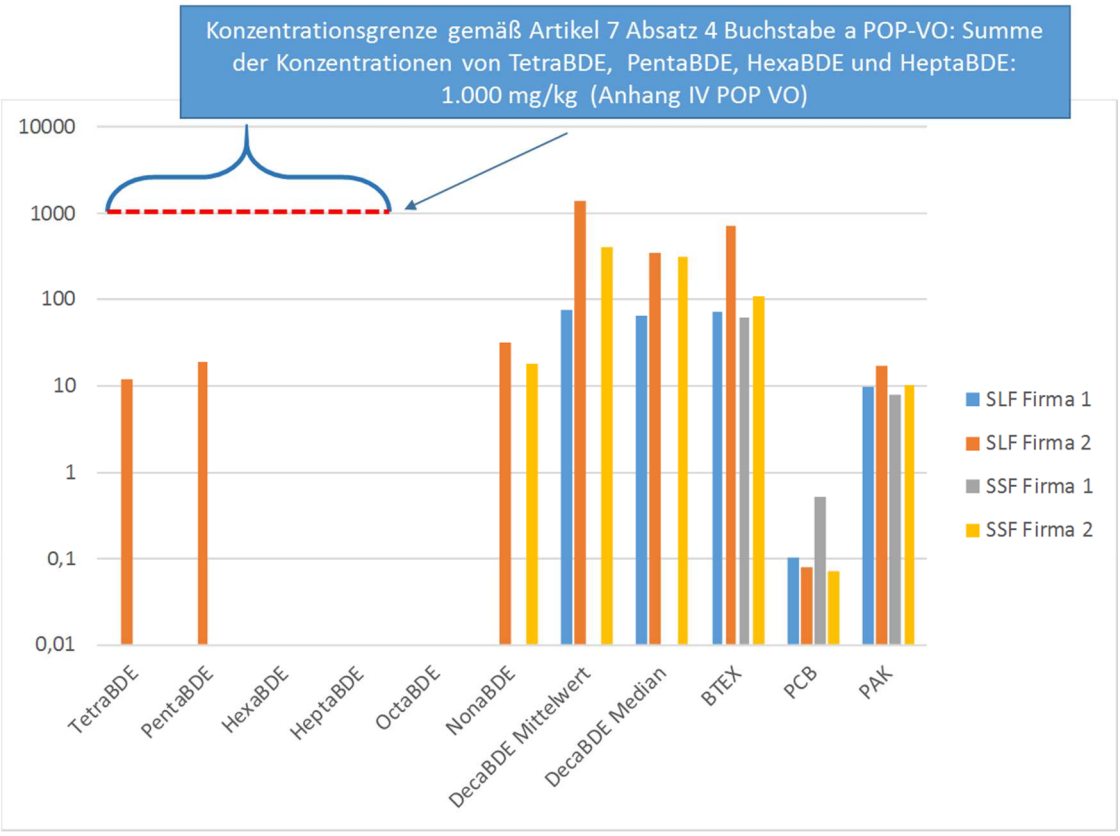
Die gefundenen niedrigen Br_{gesamt}-Werte lassen vermuten, dass auch relativ geringe Gehalte anderer bromierter Flammschutzmittel zu erwarten sind. Allerdings zeigen sich Unplausibilitäten beim Vergleich der Konzentrationen von Br_{gesamt} und der Konzentrationen bromierter Flammschutzmittel. Teilweise ließen die gefundenen Konzentrationen bromierter Flammschutzmittel höhere Br_{gesamt}-Werte erwarten. Die genauen Ursachen können auf der Grundlage der verfügbaren Analyseergebnisse nicht abgeleitet werden. Hier erscheinen weitere vertiefende Untersuchungen sinnvoll.

Insgesamt zeigen die vorhandenen Analyseergebnisse, dass die festgestellten Konzentrationen der in der POP-VO regulierten bromierten Flammschutzmittel unterhalb des Summengrenzwertes der POP-VO von 1.000 mg/kg liegen. Wird DecaBDE als reguliertes bromiertes Flammschutzmittel in die POP-VO aufgenommen, wird von Bedeutung sein, wie der Grenzwert festgelegt wird. Als Summenwert der Mittelwerte der bisherigen POP-BDE plus Deca-BDE ergäbe sich für die SLF bei einer der beiden Firmen in dem Restkarossenmonoschredderversuch eine Konzentration von über 1.000 mg/kg, das heißt oberhalb des derzeitigen POP-VO-Summengrenzwerts der bisher regulierten PBDE.

Sämtliche PCB-Werte in SSF und SLF lagen unter 1 mg/kg. Die PAK-Konzentrationen lagen im Bereich von unter 10 bis maximal 20 mg/kg.

Ergebnisse zur Analyse organischer Schadstoffe in der SLF und der SSF sind in Abbildung 77 zusammengefasst.

Abbildung 77: Konzentrationen organischer Schadstoffe in der SLF und SSF (Angaben in mg/kg)



Quelle: Datengrundlage Wessling Analytik, eigene Darstellung.

3.10 Optische Bestimmungen

Alle in den Schredderanlagen, bei Firma 1 auch der nachgeschalteten Post-Schredder-Anlage, erzeugten Fraktionen, wurden fotografisch dokumentiert, um ggf. für weitere Fragestellung als Archiv zur Verfügung zu stehen (internes Ergänzungsmaterial zum Bericht). Ein Beispiel für die Dokumentation dieser optischen Bestimmung ist in Abbildung 78 dargestellt.

3.10.1 Optische Bestimmungen bei der Firma 1

Bei der Firma 1 wurden alle Anfallstellen (siehe Tabelle 139) fotodokumentiert und beschrieben.

Tabelle 139: Fraktionen für die optischen Bestimmungen (Firma 1)

Interne Nummer	Interne Bezeichnung
1	Stahlschrott (Sorte4)
2	Metallmischfraktion nach Handklaubung
3	Schredderschwerfraktion < 2 mm
4.1	Schredderleichtfraktion < 180 mm
4.2	Schredderleichtfraktion < 180 mm
4.3	Schredderleichtfraktion < 180 mm
20	Fe 2-8 mm
21	Mischmetalle 8-20 mm
22	Mischmetalle 2-8 mm

Interne Num-mer	Interne Bezeichnung
23	NLP 2-8 mm
24	NLP 8-20 mm
25	Filterstaub
26	Messing
27	Schredderschwerfraktion Aluminium-Kupfer-Kühler
28	Schredderschwerfraktion Kupfer
29	Leiterplatten
30	Schredderschwerfraktion Messing-Kupfer
31	Schredderschwerfraktion Kunststoff handsortiert
32	Schredderschwerfraktion Kabel
33	Schredderschwerfraktion VA (Edelstahl)
34	Schredderschwerfraktion Aluminium
35	Schredderschwerfraktion Mischmetall
36	Schredderschwerfraktion Verbunde
37	Schredderschwerfraktion Aluminiumguss
38	Schredderschwerfraktion Kabelfitz
39	Schredderschwerfraktion Eisen-Produkt SK1
40	Schredderschwerfraktion Verbunde Bandrolle SK3
41	Schredderschwerfraktion Verbunde Bandrolle SK2
42	Schredderschwerfraktion Aluminium (auf Band)
43	Schredderschwerfraktion Schwermetall (auf Band)
44 und 45	Schredderschwerfraktion Bandtrennung Verbunde/Aluminium
46	Schredderschwerfraktion Verbunde/Kunststoffe
47	Schredderschwerfraktion Schwermetalle
48	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren 8-20 mm: Kupfer
49	Schredderschwerfraktion Aluminium 20-100
50	Schredderschwerfraktion Aluminium-Fe-Verbunde 20-100
51	Schredderschwerfraktion Verbunde 20-100
52	Schredderschwerfraktion VA 20-100
53	Schredderschwerfraktion Aluminium-Kupfer-Kühler
54	Restmüll 20-100
55	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren 20-100 mm: Leiterplatten
56	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren Aluminium-Verbunde
57	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren Aluminium-Guss
58	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren 20-100 mm Mischmetalle
59	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren 20-100 mm Kabel
60	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren 20-100 mm Messing

Interne Nummer	Interne Bezeichnung
61	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren 20-100 mm Messing, Aluminiumguss
62	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren 20-100 mm Aluminium
63	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren 20-100 mm Verbunde
64	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren 20-100 mm: Leiterplatten (Sinkgut)
65	Schredderschwerfraktion Schwimmsinkverfahren 20-100 mm Kabel (Eimer)
66	Schredderschwerfraktion Konzentrat Sinkgut 8-20 mm Schwermetalle
67	Schredderschwerfraktion Schwimmfraktion Aluminium
68	Schredderschwerfraktion Schwimmfraktion Fe-Produkt
69	Schredderschwerfraktion Schwimmfraktion Fe-Produkt
70	Schredderleichtfraktion, Schwerteile
71	Schredderleichtfraktion Mineralien
72	Schredderleichtfraktion Handklaubung Kunststoff
73	Schredderleichtfraktion Handklaubung Eisen
74	Schredderleichtfraktion Handklaubung Reststoffe
75	Schredderleichtfraktion Handklaubung 4 Eimer Kabel
76	Schredderleichtfraktion Handklaubung 2 Eimer VA
77	Schredderleichtfraktion Handklaubung Leiterplatten
78	Schredderleichtfraktion Müll-Reststoffe
79	Schredderleichtfraktion Bandabrieb Reststoffe
80	Schredderleichtfraktion Mineralik Containergruppe II
81	Schredderleichtfraktion SG 30-85
82	Schredderleichtfraktion Schwimmfraktion Eisen 30-85 mm
83	Schredderleichtfraktion Schwimmfraktion EisenProdukt < 30 mm
84	Schredderleichtfraktion Schwimmfraktion Filterstaub
85	Schredderleichtfraktion Schwergut III < 30 mm
86	Schredderleichtfraktion EBS 49 < 30 mm
87	Schredderleichtfraktion EBS 49 2-30 mm
88	Schredderleichtfraktion Schwergüter III, 2-30 mm
100	Linie 2 Schwergut, SG3 < 5 mm
101	Linie 2 Schwergut, EBS 21
102	Linie 2 Schwergut, EBS 22
103	Linie 2 Schwergut, Eisen, Kupfer
104	Linie 2 HSS1
106	Linie 2 Schwergut, Kabelprodukt
107	Linie 2 HSS2
108	Linie 2 Schwergut, Bandabrieb Kabel, Kunststoffe

Interne Num-mer	Interne Bezeichnung
110	Linie 2 Schwergut, Kabelfinger
111	SLF 20-60 mm Linie 1 EBS 11
112	SLF 20-60 mm Linie 1 EBS 12
113	SLF 20-60 mm Linie 1 kgH> 60 mm
114	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Kabel
115	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung legierter Stahl
116	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Fremdeintrag Stein
117	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Eisen
118	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Nichtmetalle
119	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Metall
120	SLF 20-60 mm Linie 1 Kabelprodukt
121	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Reststoffe
122	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung VA
124	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Leiterplatten
125	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Kabine 2 Leiterplatten
126	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Kabine 2 Verbunde
127	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Kabine 2 Aluminium
128	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Kabine 1 Holz
129	SLF 30-85 mm Linie 1 Handklaubung Kunststoffe
130	SLF 20-60 mm Linie 1 Handklaubung Kabine 2 Leiterplatten
131	NLP 20-100 mm Linie 1 EBS11
132	NLP 20-100 mm Linie 1 kgH 30-85 mm 1/08
133	NLP 20-100 mm Linie 1 Kabelband Handklaubung
134	NLP 20-100 mm Linie 1 legierter Stahl
135	NLP 20-100 mm Linie 1 leitfähiges Produkt
136	NLP 20-100 mm Linie 1 NE-Produkt
137	NLP 20-100 mm Linie 1 Metall/Steine
138	NLP 20-100 mm Linie 1 Handklaubung Kabel Textilien
139	NLP 20-100 mm Linie 1 Handklaubung Kabine 3, Reststoffe
140	NLP 20-100 mm Linie 1Handklaubung Kabine 3, VA
141	NLP 20-100 mm Linie 1Handklaubung Kabine 3, Verbunde
142	NLP 20-100 mm Linie 1Handklaubung Kabine 3, Leiterplatten
143	NLP 20-100 mm Linie 1Handklaubung Mischmetalle
144	NLP 20-100 mm Linie 1Handklaubung Kabine 2, Verbunde
145	NLP 20-100 mm Linie 1Handklaubung Kabine 1 Holz
146	NLP 20-100 mm Linie 1Handklaubung Kabine 1, Kunststoffe
147	NLP 20-100 mm Linie 1 Handklaubung Kabine 1, Leiterplatten

3.10.2 Optische Bestimmungen bei der Firma 2

Bei der Firma 2 wurden die in Tabelle 140 dargestellten 21 Stellen für die optische Bestimmung (Fotodokumentation) ausgewählt.

Tabelle 140: Anfallstellen der optischen Bestimmung der Firma 2

Interne Nummer	Bezeichnung
1	Stahlschrott / Sorte 4 / Sorte 84
2	Cu-Fe-Anker
3	Eisenstaub
4	SSF Absieb; 0-18 mm
5	Mischmetalle M1; 0-18 mm
6	Mischmetalle M2; 18-30 mm
7	VA-Restfraktion; 18-30 mm
8	VA-Schrott
9	Messing
10	Kupfer
11	Mischmetalle M3/M4; 30-120 mm
12	VA-Restfraktion; 30-120 mm
13	Leiterplatten
14	Aluminium; 30-120 mm
15	SSF > 120 mm
16	Mischmetalle aus Handklaubung SSF
17	Filterstaub
18	SLF fein; 0-15 mm
19	SLF grob
20	Mischmetalle aus SLF
21	Sorte 4 aus Überbandmagnet

Die vorgegebenen Stellen wurden fotodokumentiert und ein Protokoll erstellt mit Bemerkungen zu Inhaltstoffen oder Auffälligkeiten (Beispiel siehe Abbildung 78):

Abbildung 78: Beispiel Protokoll optische Bestimmung

Probennahmeprotokoll Optische Bestimmung/Bewertung

Vorhaben: **Schredderversuch von Altfahrzeugen Firma 2**
Datum: **19.05.2016**

Anfallstelle/Fraktion:	Stahlschrott / Sorte 4 / Sorte 84 (Probe 1)			
Abfallschlüsselnummer:	191001	Interne Bezeichnung:		1
Verbale Beschreibung:	Siebreste, Al-Fe-Verbund, Textilien; Störstoff >2%			
Gewicht:	137191 kg			
Originalfotos:	DSC-5452	**DSC-5453**	DSC-5454	**DSC-5455**
(102-107)	DSC-5456	DSC-5457		





Bildquelle: Wessling

3.11 Einschätzungen von Probenahme und Analytik inkl. Fehlerbetrachtungen

Zu den Untersuchungen der genommenen Proben, insbesondere der SLF und SSF, wurde eine Fehlerbetrachtung durchgeführt.

Bei Fehlerbetrachtungen von Probennahme und Analytik sind im Wesentlichen die Verfahrensschritte

- Probennahme inkl. der Probenteilung vor Ort,
- Probenvorbereitung im Labor,
- Analytik und
- Auswertung und Berichtserstellung

zu berücksichtigen.

3.11.1 Stahlschrott (Probe 1) und VA-Stahl

Die RFA-Untersuchungen am Stahlschrott (Kapitel 3.4) und von einzelnen Teilen der VA-Fraktion (Kapitel 3.6) dienten überwiegend dazu, die vorliegenden Legierungen und ihre Bestandteile zu identifizieren. Da die RFA oberflächennah misst, waren zur Identifizierung beschichteter Teile die Oberflächenbeschichtungen durch Abschleifen zu entfernen. Trotz des Abschleifens wurde für mehrere Proben möglicherweise der Metallkern nicht erreicht, was aus den immer noch hohen Zink-, Blei- oder Titan-Messwerten, die Indikator für eine Beschichtung sind, geschlossen werden kann.

Vom Stahlschrott der Firma 1 und der Firma 2 wurden alle Einzelteile der Probenkisten (115 kg der Firma 1 und 110 kg der Firma 2) verwogen. Für ca. 10 % der Masse des Stahlschrottes konnte wahrscheinlich aufgrund der nicht vollständig entfernten Oberflächenbeschichtung keine Legierung eindeutig zugeordnet werden. Für die Gesamtbilanz resultiert dadurch ein Fehleranteil, da die Elemente Zink, Titan und Blei in der Gesamtsumme pro kg Stahlschrott als etwas zu hoch ausgewiesen werden und Eisen und seine Legierungsbestandteile als etwas zu niedrig. Aufgrund des geringen Masseanteils von nur ca. 10 % und der sehr geringen Gehalte der Elemente aus der Oberflächenbeschichtung kann dieser Fehleranteil jedoch vernachlässigt werden.

Die angeführten Vergleichsmessungen mittels ICP-OES dienten dazu, Aussagen zu einigen, mittels der RFA-Technik nicht detektierbaren, Elementen zu erhalten.

Der VA-Stahl wurde lediglich an wenigen ausgewählten Teilstücken charakterisiert, um Hinweise über die Legierungen zu erhalten. Aufgrund des Stichprobencharakters können keine Aussagen zur Repräsentativität getroffen werden. Bemerkenswert ist die sehr gute Legierungsidentifizierung der VA-Teile durch die RFA-Messung.

Um eine Verbesserung der Anzahl der identifizierten Einzelbestandteile hinsichtlich ihrer Legierung beim Stahlschrott zu erhalten, ist es für zukünftige Untersuchungen empfehlenswert, auf eine gründliche Abtrennung der Oberflächenschicht zu achten.

3.11.2 Anhaftungen Stahlschrott

Um über die Inhaltsstoffe von Anhaftungen am Stahlschrott Aussagen zu erhalten, wurde der vom Stahlschrott der Firma 1 abgewaschene Staub untersucht (Kapitel 3.4.1.3). Die Elemente Gold (Au), Palladium (Pd) und Tantal (Ta) konnten nicht nachgewiesen werden. Von den Metallen der Seltenen Erden konnten Cer (Ce), Lanthan (La), Neodym (Nd), Praseodym (Pr) und Yttrium (Y) quantitativ bestimmt werden. Auch die Elemente Hafnium (Hf), Niob (Nb), Germanium (Ge), Indium (In), Rubidium (Ru), Silber (Ag) konnten bestimmt werden.

Die Ergebnisse beziehen sich auf die Stichprobe von 25 kg Stahlschrott.

3.11.3 Mischmetalle (Probe 2)

Eine Elementanalytik der Mischmetalle, die durch eine Handklaubung separiert wurden, gestaltet sich problematisch, da hier Verbunde vorliegen und keine reinen Fraktionen. Hier konnte man nur optisch die Anteile von Kupfer, Stahl, Gummi/Kabel durch erfahrenes Laborpersonal in die Fraktionen trennen, verwiegen und bei Verbundstoffen den Anteil abschätzen (siehe Abschnitt 3.5). An einigen ausgewählten Teilen wurden stichpunktartig RFA-Messungen bzw. über Bohrproben ICP-OES Messungen (Kapitel 0 und 3.5.2.2) durchgeführt. Aufgrund des Stichprobencharakters sind diese in Tabelle 102 und Tabelle 109 dargestellten Elementgehalte allerdings nicht repräsentativ für die gesamte Metallmischfraktion.

Aufgrund der relativ großen Laborprobenmasse von ca. 30 kg und des hohen Anteils der verwogenen eindeutig identifizierbaren Fraktionen wird der Schätzfehler als gering eingestuft.

Damit können die Massenergebnisse der Fraktionen Kupfer, Stahl und Gummi/Textilien als charakteristisch für die Mischmetalle nach Handklaubung betrachtet werden.

3.11.4 SSF (Probe 3) und SLF (Probe 4)

Durch spezielle Gestaltungen von Probennahme-/Probenvorbereitungs- und Analysenkonzepten der SSF- und SLF-Untersuchungen war eine quantitative Abschätzung der Streuungsanteile einzelner Verfahrensschritte möglich. Für die Parameter der SLF und der SSF erfolgten quantitative Abschätzungen der Streuung von Probennahme und Analytik (inkl. Probenvorbereitung) inklusive der Beurteilung, ob die Probennahme repräsentativ war oder nicht. Die prinzipielle Vorgehensweise zur Durchführung der Repräsentativitätstest gemäß E-DIN 19698 Teil 2 ist in Abschnitt 3.7.1.3 erläutert.

Die Repräsentativitätstests gestatten Aussagen, ob der Umfang der Probennahme sowie die Anzahl der durchgeführten Analysen ausreichend waren. Aufgrund obigen Vorgehens erhält man für jeden Parameter sechs Messergebnisse inkl. ihrer Gesamtmessunsicherheit U (P=95 %). Ihre Berücksichtigung sichert ein hohes Maß an Vertrauen bei ihrer weiteren Verwendung. Das Vorliegen dieser Zusatzinformationen macht erst eine fachgerechte Weiterverwendung dieser Ergebnisse möglich.

Bei Spurenbestandteilen und leicht flüchtigen Bestandteilen ist die Vorgabe U_{tol} < 30 % zu streng. Für zukünftige Untersuchungen wird vorgeschlagen, bei organischen Komponenten eine andere tolerierbare Unsicherheit vorzugeben, als bei den anorganischen.

Auch die Ergebnisse, die sich als nicht repräsentativ ergeben, können verwendet werden, da der Mittelwert (respektive Median) immer noch repräsentativer als jeder Einzelwert ist. Dieses Vorgehen ist identisch mit dem bei nicht bekannten Messunsicherheiten, was in der Regel die Praxis ist.

3.11.4.1 SSF (Probe 3)

Für beide Firmen sind die Anteile der repräsentativ ermittelten Ergebnisse für die einzelnen Parameter in Tabelle 141 dargestellt. Es zeigt sich eine gleiche Güte bei der Probennahme, trotz unterschiedlicher Korngröße. Die größere Korngröße ist wahrscheinlich die Ursache, dass bei der Firma 2 im Vergleich zur Firma 1eine fast für alle Parameter höhere Gesamtstreuung erhalten wurde.

Tabelle 141: Gegenüberstellung der erfolgreichen Repräsentativitätstests SSF für Firma 1 und Firma 2

Repräsentativität nachgewiesen	SSF (< 2 mm) Firma 1	SSF (< 18 mm) Firma 2
Probenahme	86 %	87 %
Probennahme und Analytik	67 %	26 %

Bei der Firma 1 werden BTEX, die als Stichproben gezogen wurden und nicht homogenisiert werden dürfen, anorganische Elemente wie Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Zinn und Beryllium als nicht repräsentativ ausgewiesen. Das deutete auf Inhomogenitäten hin, die durch Zerkleinern und Homogenisieren nicht verringert werden konnten. Bei Chrom und Nickel lieferte die Mischprobe 3 im Vergleich zu den anderen beiden Mischproben deutlich geringere Werte. Bei Beryllium liegt ein Wert doppelt so hoch wie die anderen, sodass auch hier größere Streuungen resultieren und nicht repräsentativ ergeben.

Die Resultate sind bei der Firma 2 ähnlich, allerdings ist die oben bereits erwähnte höhere Gesamtstreuung zu verzeichnen, was mit einem höheren Parameteranteil einhergeht, der als nicht repräsentativ eingeschätzt wird.

Bei der Aufteilung auf die unterschiedlichen Fraktionen ergibt sich wahrscheinlich auch aufgrund der unterschiedlichen Korngröße ein Unterschied. So dominiert bei Firma 1 die Glasfraktion (ca. 60 %) vor Mineralik (36 %), während bei der größeren Korngröße der Firma 2 die Fraktion Mineralik (47 %) vor

Glas (ca. 30 %) und Kunststoffe (22 %) dominiert. Bei Firma 2 fällt der deutlich höhere Kunststoffanteil gegenüber 4 % bei der Firma 1 auf. Bei allen Fraktionen zeigt sich hingegen eine recht gute Übereinstimmung der Ergebnisse beim Vergleich der 3 Probenkisten untereinander.

3.11.4.2 SLF (Probe 4)

Für beide Firmen sind die Anteile der repräsentativ ermittelten Ergebnisse für die einzelnen Parameter in Tabelle 142 dargestellt. Es zeigt sich eine gute Qualität Güte bei der Probennahme für beide Firmen.

Bei der Firma 2 erhält man trotz größerer Inhomogenität des Ausgangsmaterials für SLF (< 180 mm) im Vergleich zu SSF (< 18 mm) einen höheren Anteil repräsentativer Gesamtmessunsicherheiten (< 30 %).

Tabelle 142: Gegenüberstellung der erfolgreichen Repräsentativitätstests SLF für Firma 1 und Firma 2

Repräsentativität nachgewiesen	SLF Firma 1	SLF Firma 2
Probenahme	77 %	85 %
Probennahme und Analytik	45 %	69 %

Zur Verbesserung der Qualität zukünftiger Untersuchungen wird empfohlen, bei nicht repräsentativen Ergebnissen weitere Laborproben nur hinsichtlich dieser kritischen Parameter zu analysieren.

Bei der Firma 1 waren die Parameter Decabromdiphenylether, BTEX, PCB, PAK und 7 anorganische Elemente nicht repräsentativ. Bei der Firma 2 waren die Parameter Nonabromdiphenylether, Decabromdiphenylether, BTEX, Blei, Cadmium, Kupfer und Brom nicht repräsentativ. Für Spurenbestandteile wie bei den PBDE und Stichproben wie bei BTEX ist das zu erwarten, welche schon höhere Analysenstreuungen aufweisen als 30 %. Bei Elementen, wie beispielsweise Blei, Kupfer, Chrom und Nickel liegen oftmals kleinste Metallteilchen in den Analysenproben vor. Diese lassen sich während der Probenvorbereitung beim Mahlen nicht beliebig zerkleinern und dadurch schlecht homogenisieren, so dass Inhomogenitäten bleiben. Dieser Effekt ist aus der Analyse von Sekundärbrennstoffen bekannt.

Bei BDE 209 und Blei führen einzelne recht hohe Gehalte zu einem erhöhten Mittelwert. Hier sollte der Median als robuste Größe zur Charakterisierung der Verteilung benutzt werden.

Der Aufwand für die Probenvorbereitung SLF im Labor ist aufgrund der höheren Ausgangskorngröße gegenüber der SSF-Fraktion (< 2 mm bzw. < 18 mm) infolge zusätzlicher Klassierungs- und Zerkleinerungsstufen viel höher (siehe 3.7.1.1 und 3.7.2.1).

Die Ergebnisse der Sortieranalyse der Materialfraktionen zeigen eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen den drei angelieferten Mischproben (à 60 L) je Firma (siehe Tabelle 114 und Bildquelle: Wessling

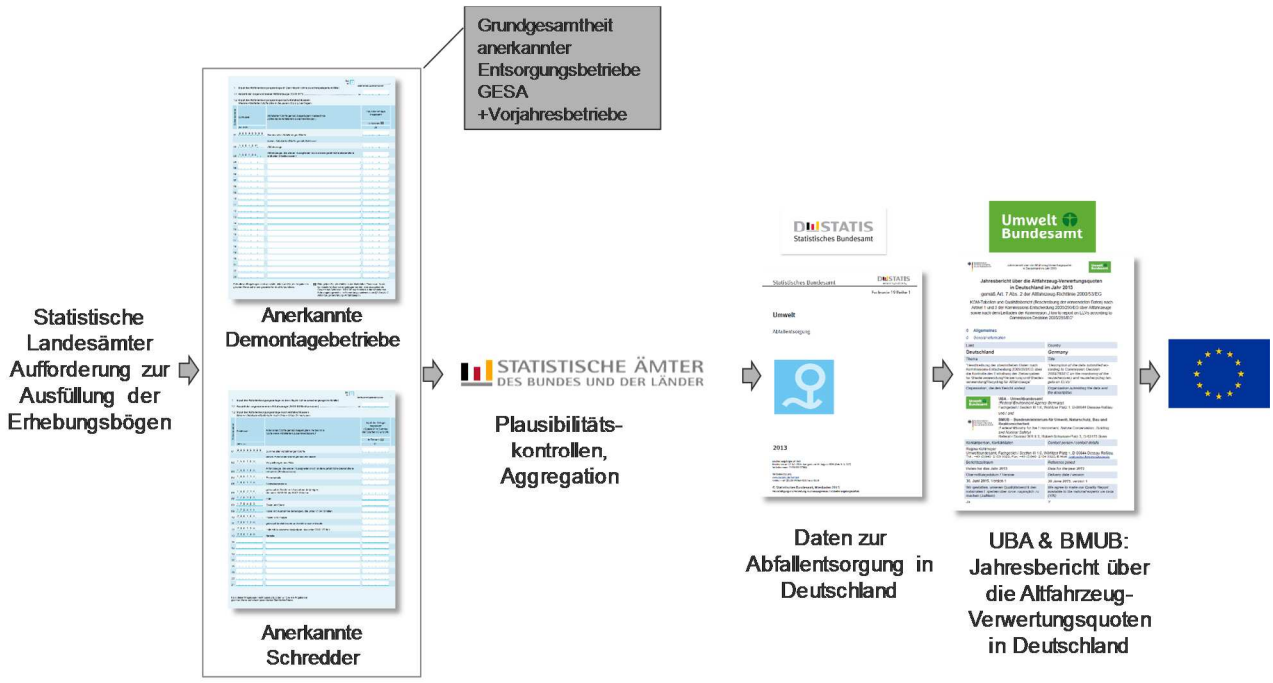
Tabelle 118). Die Ergebnisse können stellvertretend zur Charakterisierung der Güte der Probenahmen und Probenvorbereitung verwendet werden, wobei allerdings die sich anschließenden Bearbeitungsschritte wie Zerkleinerung und Homogenisierung ausgenommen sind.

4 Fortschreibung der Grunddaten und der Methodik des Altfahrzeug-Quotenmonitorings

4.1 Bisherige Methodik zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten für Deutschland und Ziel der Fortschreibung

Für die Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten nach der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG in Deutschland wurde Anfang der 2000er Jahre eine Methodik entwickelt, die erstmals für das Berichtsjahr 2004 angewendet wurde. Sie basiert auf einer Erhebung der Input- und Outputströme der Altfahrzeug-Demontagebetriebe sowie der Schredderbetriebe (hier mit Restkarossen im Input) im Rahmen der Abfallstatistik nach Umweltstatistikgesetz. Das Umweltbundesamt nutzt die vom Statistischen Bundesamt aggregierten Daten und ermittelt daraus die Altfahrzeug-Verwertungsquoten für Deutschland. Dieses Berichtssystem ist mit geringem Erfassungsaufwand für die Schredderbetreiber verbunden, deren Input sich aus einem Mix aus Altfahrzeugen und anderen metallhaltigen Abfällen zusammensetzt, und arbeitet mit einigen Annahmen und Schätzungen, insbesondere, was den Anfall der Schredderleichtfraktion aus der Behandlung der Altfahrzeuge betrifft.

Abbildung 79: Überblick: Ablauf des Monitorings zur Ermittlung der Altfahrzeug-Verwertungsquoten für Deutschland



Die Datenbasis für die Bestimmung der Altfahrzeug-Verwertungsquoten bilden die Abfallstatistiken der statistischen Landesämter und des Statistischen Bundesamtes. Es erfolgt eine jährliche flächendeckende Erhebung bei den Altfahrzeugverwertern (Demontagebetrieben und Schredderanlagen) nach dem Umweltstatistikgesetz (§ 3 Abs. 1 Nr. 1). Für die abfallstatistische Erhebung tragen die Altfahrzeugverwerter jeweils nach dem Ende eines Berichtsjahres ihre Angaben zu den betrieblichen Input- und Output-Mengen in die statistischen Erhebungsbögen ein, die durch die statistischen Landesämter und anschließend durch das Statistische Bundesamt ausgewertet, anonymisiert und zusammengefasst werden. Aus den aggregierten Daten ermittelt das Umweltbundesamt die nationalen Verwertungsquoten für Altfahrzeuge (UBA & BMUB 2015).

Der Bericht an die Europäische Kommission umfasst die nationalen Quoten entsprechend § 5 Abs. 1 AltfahrzeugV. Die betrieblichen Quoten nach Entsorgungspflichten nach§ 5 Abs. 1 AltfahrzeugV bzw. dem Anhang der AltfahrzeugV sind nicht Gegenstand des Berichtes und dieser Studie.

Für die Ermittlung der Beiträge der Demontagebetriebe zu den Verwertungsquoten werden nur die Abfallarten in die Quotenermittlung einbezogen, die aus den Altfahrzeugen stammen (ohne Treibstoffe). Hier, und bei den Abfallfraktionen aus dem Schredder ebenfalls, wird zwischen Recycling und energetischer Verwertung unterschieden.

Da Deutschland die Methode „Schätzung des Metallgehaltes" nach Artikel 1 Abs. 2 anwendet (UBA & BMUB 2015), bei der der verwertete Metallanteil in den Altfahrzeugen auf der Grundlage einer repräsentativen Fahrzeugauswahl bestimmt und pauschal in den Verwertungsquoten berücksichtigt wird, muss bei der Datenerhebung für die Verwertungsquoten eine Differenzierung der metallischen und der nicht-metallischen Altfahrzeuganteile erfolgen. Da die metallischen Anteile pauschal in der stofflichen Verwertungsquote berücksichtigt werden, ist nur für die nicht-metallischen Anteile eine Differenzierung zwischen stofflicher und energetischer Verwertung vorzunehmen.

Die Darstellung der Verwertungssituation in den Tabellen zur Berichterstattung an die EU-Kommission sehen für den Output der Schredderanlagen die Unterteilung in „Eisenhaltiger Schrott (Stahl)", „Nichteisenhaltige Werkstoffe (Aluminium, Kupfer, Zink, Blei usw.)", „Schredderleichtfraktion (SLF)" und „Andere" vor (Anhang der Entscheidung der Kommission 2005/293/EG).

Da Schredderanlagen nicht nur Restkarossen von Altfahrzeugen, sondern auch weitere Abfälle behandeln, werden die Daten der produzierten Fraktionen vom Umweltbundesamt rechnerisch aufgeteilt in einen Anteil, der aus den Restkarossen stammt und einen Anteil, der aus anderen Inputfraktionen stammt.

Der Anteil des nicht-metallischen Outputs, der aus Restkarossen stammt (in der Berichterstattung „Schredderleichtfraktion" genannt) wird bisher im Rahmen der Berichterstattung folgendermaßen bestimmt:

„Beim Schreddern von Restkarossen entstehen rund 75 % metallische Fraktionen und rund 25 % Schredderleichtfraktion. Daher wurde ein Anteil der Schredderleichtfraktion (Abfallschlüsselnummern 191003* und 191004) im Umfang von 25 % des Gewichts der im Schredder behandelten Restkarossen (aus dem Inland) der Altfahrzeugbehandlung zugeordnet und damit in die KOM-Tabelle 2 aufgenommen." (BMUB & UBA 2015, S. 9)

Für die Schredderleichtfraktion (im Sinne der Berichterstattung) werden mit Hilfe der statistischen Fragebögen auch Angaben darüber erhoben, ob diese letztendlich stofflich verwertet, energetisch verwertet oder beseitigt wurde.

4.2 Ziele der Fortschreibung des Quotenmonitorings

Die Ziele der Fortschreibung des Quotenmonitorings sind vor dem Hintergrund der dargestellten und seit über zehn Jahren angewendeten Methodik,

- die Validität der bislang für das Quoten-Monitoring verwendeten Grunddaten und Annahmen sowie der Berechnungsmethodik einzuschätzen und ggfs. eine Aktualisierung der Datenbasis vorzunehmen (siehe Kapitel 4.3) sowie
- ggf. Vorschläge für eine Weiterentwicklung der Methodik zu entwickeln (siehe Kapitel 4.4).
- Die Ergebnisse zur Fortschreibung der Methodik umfassen Empfehlungen zur Aktualisierung bzw. Validierung der Grunddaten sowie der Berechnungsmethodik, Verbesserung der Datenerhebung sowie zu Möglichkeiten der Vereinfachung bei der Datenerhebung und bei der Auswertung der Daten.

4.3 Fortschreibung der Grunddaten

Nachfolgend werden die angewandte Methodik sowie die Ergebnisse der Validierung bzw. Aktualisierung der für die Quotenberichterstattung benötigten Grunddaten dargelegt. Die in der folgende Tabelle 143 benannten Grunddaten und Annahmen wurden überprüft.

Tabelle 143: Überprüfte Grunddaten und Annahmen

Datenbereich	Datenart
Grundsätzlich	Durchschnittsalter von Altfahrzeugen,
	Durchschnittlicher Metallgehalt von Altfahrzeugen (entsprechend den Versuchen zum Schreddern von Altfahrzeugen)
Bezogen auf den Input der Demontagebetriebe	Durchschnittliches Eingangsgewicht der Altfahrzeuge beim Demontagebetrieb (zur Plausibilitätsprüfung, ob die Daten von DESTATIS die Realität abbilden und ob die Betriebe die Gewichte korrekt nach AltfahrzeugV bestimmen)
Bezogen auf den Output der Demontagebetriebe	Benennung und Quantifizierung der stofflich und energetisch verwerteten nichtmetallischen Anteile der Outputströme,
	Verwertungsanteile von ins Ausland ausgeführte Restkarossen
	Quotenrelevanz des Outputs
Bezogen auf den Output der Schredderbetreiber	Massenanteile und Zusammensetzung der Schredderfraktionen (Fe-Fraktion, Schredderschwerfraktion(en) (SSF), Schredderleichtfraktion(en) (SLF)
	Massenanteil der Schredderleichtfraktion(en) (SLF), der aus Restkarossen resultiert
	Diejenigen Abfallschlüsselnummern (ASN), die für die Schredderleichtfraktion(en) bzw. nichtmetallischen Schredderrückstände sowie für die Fraktionen aus deren weiteren Behandlung (Post-Schredder-Technik, PST) verwendet werden
	Benennung und Quantifizierung der letztendlich stofflich und energetisch verwerteten Anteile der nichtmetallischen Outputströme
Bezogen auf den Gesamtprozess	Höhe des verwerteten Anteils des Metallgehalts von Altfahrzeugen
	Höhe der Metallverluste

Zur Überprüfung und Aktualisierung der aufgezählten Datenarten wurden Literaturrecherchen durchgeführt und Gespräche mit Experten geführt. Wo möglich, wurden die Ergebnisse der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (siehe Kapitel 2) und weitere Informationen der beteiligten Altfahrzeugverwertungsbetriebe genutzt. Zusätzlich wurden einige Demontagebetriebe mittels Fragebogen nach den Praxisdaten befragt.

4.3.1 Durchschnittsalter der Altfahrzeuge

4.3.1.1 Hintergrund

Das Alter der Altfahrzeuge in der Altfahrzeugdemontage weist eine Relevanz im Zusammenhang mit der Frage der Zusammensetzung und der enthaltenen Bestandteile bzw. Komponenten auf (auch in Bezug auf Schadstoff- und Wertstoffgehalte). Zudem hat es derzeit noch im Rahmen des Monitorings Einfluss auf die Bestimmung des Fahrzeuginputs anhand des Briefgewichts, da je nach Erstzulassungsjahr das Altfahrzeuggewicht nach unterschiedlichen Formeln berechnet wird, siehe Abschnitt 4.3.2).

Dieser Einfluss besteht so lange, bis keine Altfahrzeuge mit Erstzulassungsdatum vor 1997 mehr in die Altfahrzeugentsorgung gelangen.

In der Berichterstattung an die EU-Kommission nach Kommissions-Entscheidung 2005/293/EG und KOM 2005 wird das durchschnittliche Alter der Altfahrzeuge als Teil der Daten zum Fahrzeugmarkt mit abgefragt.

4.3.1.2 Ausgangslage

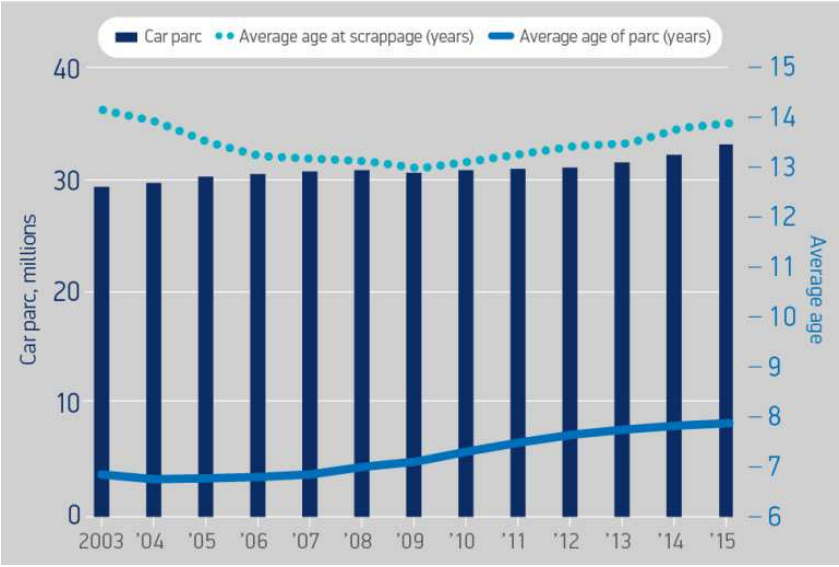
Im deutschen Jahresbericht über die Altfahrzeugverwertungsquoten (UBA 2015) wurde bis zum Berichtsjahr 2014 (siehe Tabelle in Abschnitt 2.3.1 der Jahresberichte) von einem Durchschnittsalter aller Altfahrzeuge von ca. 14 bis 15 Jahren ausgegangen. Diese Angabe beruht auf einer Schätzung, die sich insbesondere auf eine statistische Auswertung der Altfahrzeuge, für die im Jahr 2009 eine Abwrackprämie gezahlt wurde, stützt[12].

Die Quelle entsorgung.de wertete im 1. Halbjahr 2014 eine nicht genannte Anzahl von Altfahrzeugen nach Hersteller und Alter aus und kam dabei auf einen Altersmittelwert von 18 Jahren.

Die ARGE Schredder veröffentlichte die Durchschnittsalter der Altfahrzeuge der Verwertungsjahre 2006 bis 2013 (ARGE Schredder 2015) in Österreich. Danach stieg das Alter von Altfahrzeugen in diesem Zeitraum von 16,4 Jahren auf 17,7 Jahre.

Bei einem Schredderversuch in Deutschland im Jahr 2006 wurde ein Durchschnittsalter von 16 Jahren ermittelt (Scholz 2006). In einem Schredderversuch in Großbritannien wurden 14,59 Jahre ermittelt (SMMT 2015). SMMT (2016) nennt ca. 14 Jahre als Alter von Altfahrzeugen in Großbritannien im Jahr 2015 (siehe auch folgende Abbildung 80).

Abbildung 80: Fahrzeugflotte und Durchschnittsalter von Altfahrzeugen



Quelle: SMMT 2016.

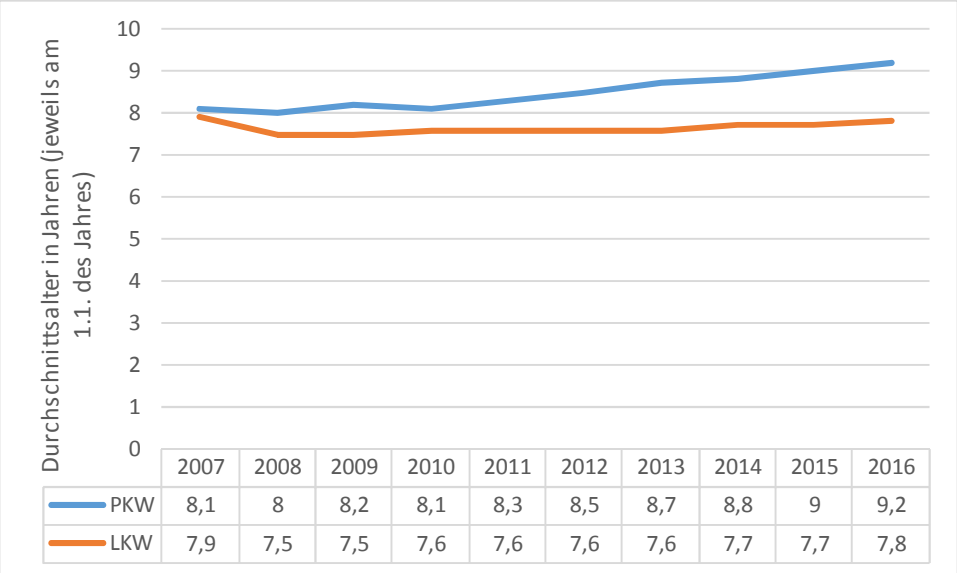
Das Kraftfahrtbundesamt gibt das Alter für Altfahrzeuge (Pkw) des Jahres 2011, die im Zentralen Fahrzeugregister erkennbar sind, mit 14,3 Jahren an und damit 1 Jahr mehr, als für die Altfahrzeuge

[12] Für 1,66 Mio. Altfahrzeuge, für die 2009 eine Umweltprämie gewährt wurde, wurde als Durchschnittsalter 14,1 Jahre ermittelt (UBA 2011).

des Jahres 2008 (UBA 2013). Weitere Daten zur aktuellen Situation im Jahr der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (2016) liegen nicht vor.

Für den Fahrzeugbestand gibt das KBA an, dass das Alter von Pkw im Zeitraum von 2007 bis 2016 (jeweils am 1.1. des Jahres) von 8,1 auf 9,2 Jahre gestiegen ist. Dies könnte dahingehend interpretiert werden, dass auch das Alter der Altfahrzeuge gestiegen ist. Die Daten aus UK (siehe oben Abbildung 80 SMMT 2016) zeigen jedoch keinen solchen Zusammenhang.

Abbildung 81: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern in den Jahren 2007 bis 2016 nach ausgewählten - Fahrzeugklassen mit dem Durchschnittsalter der Fahrzeuge in Jahren



Datengrundlage: KBA 2016; eigene Darstellung.

4.3.1.3 Aktualisierung der Information zum Durchschnittsalter der Altfahrzeuge in Deutschland

Aktuelle Daten zum Durchschnittsalter der Altfahrzeuge wurden im Rahmen der durchgeführten Altfahrzeugverwertungs- und Schredderversuche (siehe Kapitel 2) über die Erhebung während der Versuche und über eine Befragung bei Altfahrzeugdemontagebetrieben (siehe Kapitel2) empirisch ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 144 zusammengefasst.

Tabelle 144: Durchschnittsalter verschiedener Stichproben von Altfahrzeugen in Deutschland in den Jahren 2014 bis 2016

Quelle (Demontagebetrieb)	Durchschnittsalter (Jahre)	Stichprobenumfang (Anzahl Altfahrzeuge)	Erhebungszeitraum (Monat/Jahr)
Demontagebetrieb 1[13]	19,53	211	12/15-05/16
Demontagebetrieb 2	18,14	79	12/15-05/16
Demontagebetrieb 3	20,85	6	12/15-05/16

[13] Bei Demontagebetrieb 1 bis 3 handelt es sich um die Betriebe aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne, bei Demontagebetrieb 4 bis 6 handelt es sich um zusätzlich befragte Betriebe aus der Umfrage.

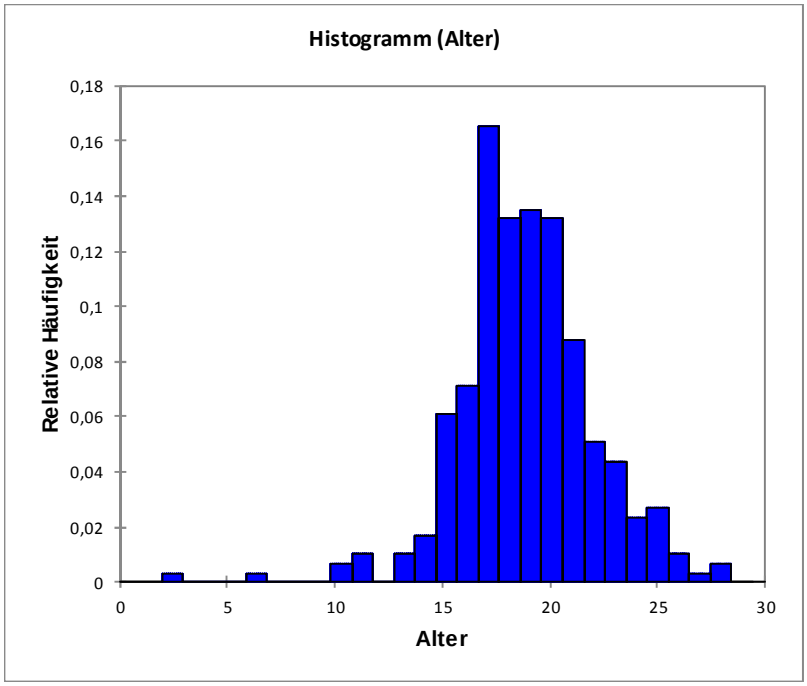
Quelle (Demontagebetrieb)	Durchschnittsalter (Jahre)	Stichprobenumfang (Anzahl Altfahrzeuge)	Erhebungszeitraum (Monat/Jahr)
Demontagebetrieb 4	18,0	682	01/14-12/14
Demontagebetrieb 5	17,0	2.374	01/14-12/14
Demontagebetrieb 6	16,0	196	01/14-12/14
Durchschnitt Demontagebetriebe 1-6	**17,3**	**3.548**	**01/14-05/16**
Durchschnitt Demontagebetriebe 1-3	**19,1**	**296**	**12/15-05/16**

Aus den erhobenen Daten geht hervor, dass die Altfahrzeuge der betrachteten Stichprobe (n=3.677) ein durchschnittliches Alter von 17,3 Jahren aufweisen (gewichteter Mittelwert).

In der Berichterstattung an die Kommission über das Altfahrzeugmonitoring wurde bis zum Berichtsjahr 2014 von einem Durchschnittsalter aller Altfahrzeuge von ca. 14 bis 15 Jahren ausgegangen. Damit sind die in der Schredderkampagne behandelten Altfahrzeuge um 4,1-5,1 Jahre älter (siehe Kapitel 2) bzw. um 2,3-3,3 Jahre älter, wenn man die Altfahrzeuge der Demontagebetriebe aus der Fragebogenumfrage einbezieht.

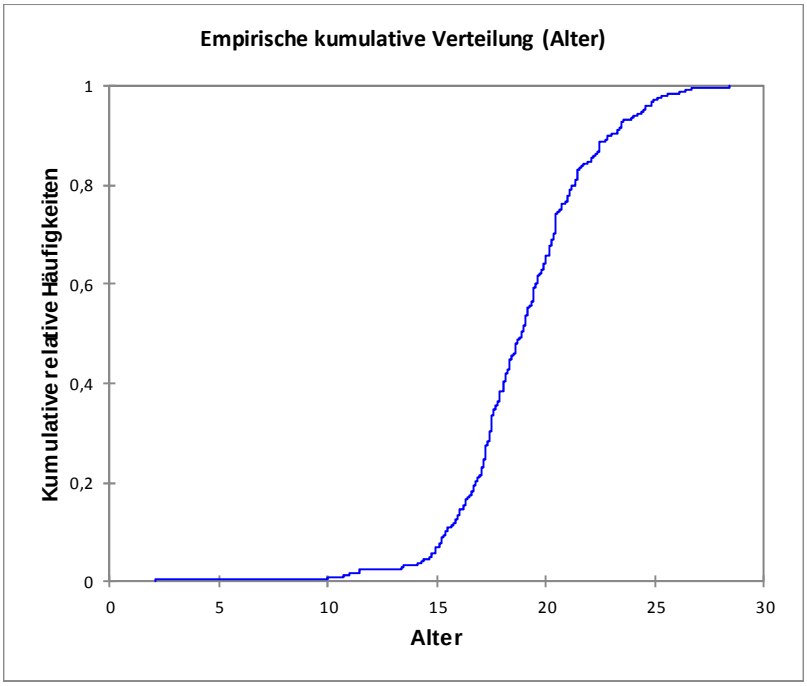
Die Verteilung der Altfahrzeugalter aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne zeigt als Altersminimum 2,25 Jahre, als Maximum 28,58 Jahre und die größte Anzahl pro Jahr bei 17 Jahren. Die Standardabweichung des Mittelwertes von 19,12 Jahren beträgt 3,19 (n=296) (siehe auch Abbildung 82 und Abbildung 83).

Abbildung 82: Histogramm der Altfahrzeugaltersverteilung



Quelle: Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne.

Abbildung 83: Empirische kumulative Verteilung der Altfahrzeugaltersverteilung (Altersangaben in Jahren)



Quelle: Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne.

4.3.1.4 Empfehlung

Für die nächsten Berichterstattungen an die EU-Kommission sollte der bis zum Berichtsjahr 2014 angegebene Wert von 14 bis 15 Jahren auf den Wert von 18 Jahren aktualisiert werden.

Wir empfehlen, die beim Kraftfahrtbundesamt im Zentralen Fahrzeugregister (ZFZR) vorliegenden Daten über Altfahrzeuge, deren Verwertungsnachweise im ZFZR erkennbar sind, alle drei Jahre zu erfragen.

Eine grundsätzliche Verbesserung der im ZFZR verfügbaren Daten könnte über eine intensivere Nutzung des Verwertungsnachweises und der enthaltenen Informationen erreicht werden. Derzeit läuft der Informationsfluss des Verwertungsnachweises vom Demontagebetrieb über den Letzthalter zur Zulassungsstelle. Empfohlen wird ein Informationsfluss direkt vom Demontagebetrieb an das ZFZR (ggf. mit Zwischenschaltung einer EDV-Kopfstelle)[14]. Beim KBA könnte das Datum der Erstzulassung der Fahrzeuge über die FIN mit der Meldung der Entsorgung als Altfahrzeug verknüpft werden.

Die Relevanz des Alters der einzelnen Altfahrzeuge für die Ermittlung des Fahrzeuggewichts als Nenner für die Ermittlung der Verwertungsquoten verringert sich über die Jahre weiter, da immer weniger Fahrzeuge mit Erstzulassungsdatum vor 1997 bei den Demontagebetrieben entsorgt werden (siehe hierzu die Ausführungen in Kapitel 4.3.2). Die Relevanz für die Berichterstattung an die EU-Kommission zum Alter der Altfahrzeuge in Deutschland bleibt bestehen. Allerdings ist hier anzumerken, dass aus der Information zum Alter keinerlei Konsequenz resultiert.

Sander et al. (2017c) heben die Sinnhaftigkeit eines direkten Informationsflusses des Verwertungsnachweises vom Demontagebetrieb zum Kraftfahrt-Bundesamt auch zur Verbesserung der Datenlage

[14] Eine intensive Auseinandersetzung mit dem Verwertungsnachweis erfolgte in dem UBA-Projekt zum „Verbleib von Altfahrzeugen in Deutschland“ (FKZ 3714 33 315 0) (Sander et al. 2017c).

zum „Verbleib von Altfahrzeugen in Deutschland“ hervor. Im Gesamtkontext der Entsorgung von Altfahrzeugen empfehlen die Gutachter auch hier, einen Informationsfluss zwischen Demontagebetrieben und KBA im Rahmen einer rechtlichen Regelung verbindlich zu machen. Der Zusatzaufwand für Demontagebetriebe, die bereits ein EDV-Betriebstagebuch führen, besteht darin, die Daten an die Kopfstelle zu transferieren. Für Demontagebetriebe, die keine EDV-Betriebstagebücher führen, bestünde ggf. die Möglichkeit, diese Daten über den Sachverständigen, der die Betriebe zertifiziert (und damit auch die Verwertungsnachweise kontrollieren muss), zu übertragen. Ein Zusatzaufwand besteht bei der Kopfstelle. Für das KBA ist die Datenhaltung zu den Verwertungsnachweisen bereits jetzt eine Pflichtaufgabe. Die Auswertung des Datums der Erstzulassung kann mit sehr geringem Aufwand erfolgen (pers. Kom. KBA 17.08.2016).

4.3.2 Eingangsgewicht der Altfahrzeuge beim Demontagebetrieb

4.3.2.1 Hintergrund

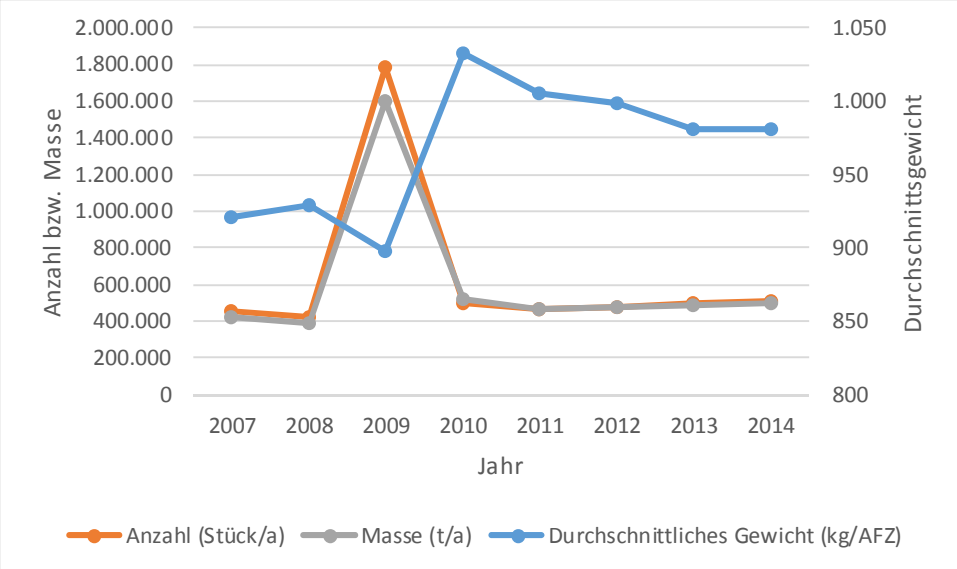
Die Summe der Altfahrzeuggewichte beim Eingang der Demontagebetriebe bildet die Bezugsgröße bei der Bestimmung der Altfahrzeugverwertungsquoten, d. h. den Nenner der Berechnung. Die korrekte Ermittlung der Altfahrzeuggewichte ist daher in hohem Maße quotenrelevant.

4.3.2.2 Ausgangslage

In den Erhebungsbögen zur Abfallstatistik geben die Altfahrzeugdemontagebetriebe sowohl die Anzahl als auch das Gesamtgewicht der in einem Kalenderjahr angenommenen Altfahrzeuge an. Aus den aggregierten Daten für Anzahl und Masse, die das Statistische Bundesamt zur Verfügung stellt, lässt sich das Altfahrzeug-Durchschnittsgewicht errechnen.

Für die Jahre 2007 bis 2014 weisen die Angaben von DESTATIS deutliche Schwankungen zwischen 920 kg/AFZ und 1.030 kg/AFZ auf, die in der folgenden Abbildung 84 dargestellt sind. Eine Erklärung für die Verringerung des Durchschnittsgewichtes im Jahr 2009 könnte der erhöhte Anteil von Kleinwagen aufgrund der Abwrackprämie sein. Für den sehr großen Anstieg zum Jahr 2010 (bei ähnlicher Absolutmasse, wie im Jahr 2008) sind keine möglichen Gründe bekannt.

Abbildung 84: Anzahl der Altfahrzeuge, Gesamtmasse und durchschnittliche Masse der Altfahrzeuge seit 2009 in Deutschland



Quellen: DESTATIS 2009 bis DESTATIS 2016.

4.3.2.3 Rechtliche Grundlage: Definition des Altfahrzeug-Leergewichts

Das „Leergewicht“ eines Fahrzeugs wird aktuell in der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) § 42 „Anhängelast hinter Kraftfahrzeugen und Leergewicht“ definiert:

> *„(3) Das Leergewicht ist das Gewicht des betriebsfertigen Fahrzeugs ohne austauschbare Ladungsträger (Behälter, die dazu bestimmt und geeignet sind, Ladungen aufzunehmen und auf oder an verschiedenen Trägerfahrzeugen verwendet zu werden, wie Container, Wechselbehälter), aber **mit zu 90 Prozent gefüllten eingebauten Kraftstoffbehältern** und zu 100 Prozent gefüllten Systemen für andere Flüssigkeiten (ausgenommen Systeme für gebrauchtes Wasser) einschließlich des Gewichts aller im Betrieb mitgeführten Ausrüstungsteile (zum Beispiel Ersatzräder und -bereifung, Ersatzteile, Werkzeug, Wagenheber, Feuerlöscher, Aufsteckwände, Planengestell mit Planenbügeln und Planenlatten oder Planenstangen, Plane, Gleitschutzeinrichtungen, Belastungsgewichte), bei anderen Kraftfahrzeugen als Kraftfahrzeugen nach § 30a Absatz 3 **zuzüglich 75 kg als Fahrergewicht**. Austauschbare Ladungsträger, die Fahrzeuge miteinander verbinden oder Zugkräfte übertragen, sind Fahrzeugteile.“*

Die obigen Bestimmungen hatten sich am 1. Juli 2004 geändert. Vorher fand der Kraftstofftank mit 100 % Füllung Berücksichtigung[15]. Der Fahrer wurde hingegen nicht in die Definition der Leermasse einbezogen.

Die Berechnung des Leergewichts für das Altfahrzeugmonitoring bezieht sich auf die Definition nach § 2 Absatz 23 AltfahrzeugV, die in dieser Fassung seit 2002[16] gilt:

"Fahrzeugleergewicht" maßgebliches Leergewicht eines Kraftfahrzeugs zur Ermittlung der Verwertungsziele, das wie folgt bestimmt wird:

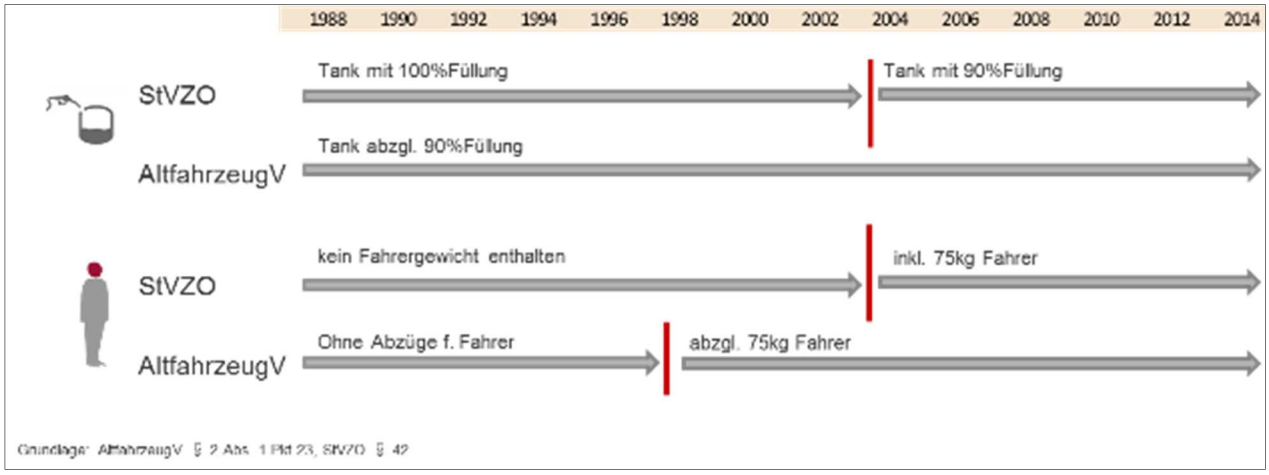
a) für Kraftfahrzeuge der Klasse M1, die bis zum 31. Dezember 1996 zugelassen worden sind: Leergewicht gemäß Fahrzeugbrief abzüglich Gewicht des Tankinhalts bei einer 90-prozentigen Füllung;
b) für Kraftfahrzeuge der Klasse M1, die ab dem 1. Januar 1997 zugelassen worden sind: Leergewicht gemäß Fahrzeugbrief abzüglich Gewicht des Tankinhalts bei einer 90-prozentigen Füllung und abzüglich Gewicht des Fahrers (75 kg);
c) für Kraftfahrzeuge der Klasse N1: Leergewicht gemäß Fahrzeugbrief abzüglich Gewicht des Tankinhalts bei einer 90-prozentigen Füllung und abzüglich Gewicht des Fahrers (75 kg).

Aufgrund der unterschiedlichen Stichtage für die Einbeziehung des Fahrergewichts in das Leergewicht nach StVZO und das Abziehen des Fahrergewichts aus dem Briefgewicht nach AltfahrzeugV ergeben sich unterschiedliche Berechnungszeiträume, siehe hierzu Abbildung 85.

[15] Siehe Sechsunddreißigste Verordnung zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften vom 22. Oktober 2003 (BGBl. 2085).

[16] Gesetz über die Entsorgung von Altfahrzeugen (Altfahrzeug-Gesetz – AltfahrzeugG) vom 21. Juni 2002, (BGBl. 2199).

Abbildung 85: Vergleich des Briefgewichtes nach StVZO und der Berechnung des Fahrzeugleergewichtes nach AltfahrzeugV



Quelle: eigene Darstellung.

Für die Fahrzeugjahrgänge 1997 bis 2003 werden somit 75 kg für den Fahrer abgezogen, obwohl diese nicht als Teil des Briefgewichtes vorgeschrieben sind. Danach würde die Verwertungsquote einfacher erreicht werden.

Im Unterschied zur AltfahrzeugV legt die Kommissionsentscheidung 2005/293/EG für die Berechnung der Quoten fest: „Das individuelle Gewicht des Fahrzeugs enthält in keinem Fall das Gewicht des Fahrers, das auf 75 kg, und das Gewicht des Kraftstoffs, das auf 40 kg festgesetzt wird“.

4.3.2.4 Datenrecherchen zum durchschnittlichen Altfahrzeuggewicht

Das durchschnittliche Eingangsgewicht der Altfahrzeuge bei Demontagebetrieben wurde im Rahmen einer Befragung bei drei Demontagebetrieben (Bezugszeitraum: Kalenderjahr 2014) ermittelt.

Bei der Befragung wurde sowohl das Eingangsgewicht erhoben als auch die Methode, anhand derer das Eingangsgewicht durch die Demontagebetriebe ermittelt wird (d. h. Schätzung, Verwiegung oder Datenentnahme aus Fahrzeugpapieren oder Tabellen). Der Stichprobenumfang betrug n=3.252. Die Ermittlung des Eingangsgewichts erfolgt bei den befragten Demontagebetrieben (vgl. Kapitel 2) vorwiegend auf Basis von betriebsinternen Rechnungs-/Tabellendaten und teilweise von Verwiegungen. Aufgrund der Art der Erhebungsmethoden bestehen hier Unsicherheiten bezüglich der Datenqualität.

Tabelle 145: Durchschnittliches Gewicht von Altfahrzeugen (gesamt=3.252)

Demontagebetrieb	$n_{1...x}$	Durchschnittliches Eingangsgewicht Waage (entnommener Kraftstoff nicht enthalten) [kg]	Durchschnittliches Briefgewicht (Kraftstoff (90 %) und Fahrergewicht (75 kg/AFZ) bereits abgezogen) [kg]
DB 4	682	k. A.	916,42
DB 5	2374	k. A.	922,59
DB 6	196	1.000	k. A.

4.3.2.5 Fahrzeuggewichte in der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne

Fahrzeuggewichte wurden im Rahmen der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne durch Verwiegung erhoben (siehe Kapitel 2). Die erhobenen Werte sind in Tabelle 146 dargestellt.

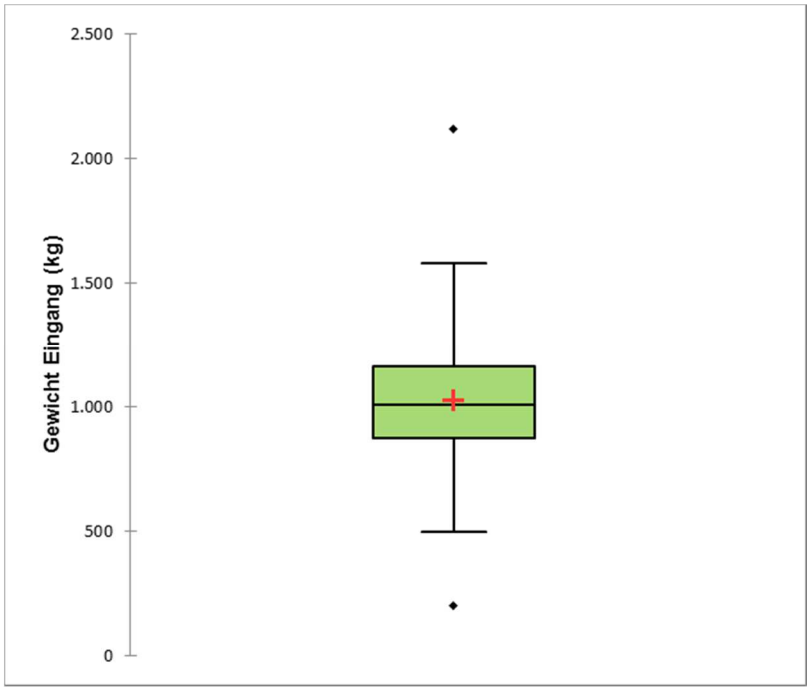
Tabelle 146: Durchschnittliches gewogenes Gewicht von Altfahrzeugen am Eingang Demontagebetrieb (n_{gesamt}=425) (nicht korrigiert)

Demontagebetrieb	$n_{1...x}$	Durchschnittliches Eingangsgewicht [kg]
DB 1	211	1.008
DB 2	208	1.049
DB 3	6	1.002

Tabelle 147: Gewogenes Gewicht von Altfahrzeugen am Eingang Demontagebetriebe

Statistik	Leergewicht Eingang
Anzahl der Beobachtungen	425
Minimum	200
Maximum	2.116
1. Quartil	872,5
Median	1.010
3. Quartil	1.164
Mittelwert	1.028,168
Varianz (n-1)	55.472,354
Standardabweichung (n-1)	235,526

Abbildung 86: Box plot - gewogenes Gewicht von Altfahrzeugen am Eingang Demontagebetriebe

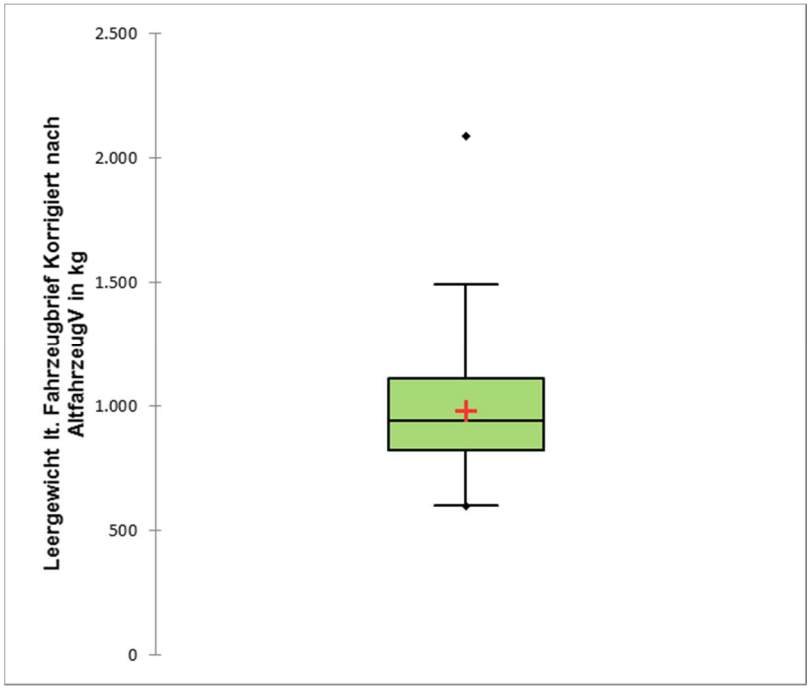


Weiterhin wurden die Altfahrzeugleergewichte laut Fahrzeugbrief erfasst. Die folgende Tabelle 148 und Abbildung 87 stellen das Fahrzeugleergewicht entsprechend den Anforderungen an die Berechnung des Fahrzeugleergewichtes nach Fahrzeugbrief der AltfahrzeugV (siehe Kapitel 4.3.2.3) dar. Dabei konnten nur solche Fahrzeuge in die Betrachtung einbezogen werden, für die die jeweils benötigten Datenangaben vorlagen (298 Stück).

Tabelle 148: Statistische Daten zum Fahrzeugleergewicht laut Fahrzeugbrief (korrigiert nach AltfahrzeugV)

Statistik	Ergebnisse
Anzahl der Beobachtungen	298
Minimum	600 kg
Maximum	2.085 kg
1. Quartil	825 kg
Median	941 kg
3. Quartil	1.110 kg
Mittelwert	980 kg
Varianz (n-1)	40.347,869
Standardabweichung (n-1)	200,868

Abbildung 87: Box plot zum Fahrzeugleergewicht laut Fahrzeugbrief (korrigiert nach AltfahrzeugV)



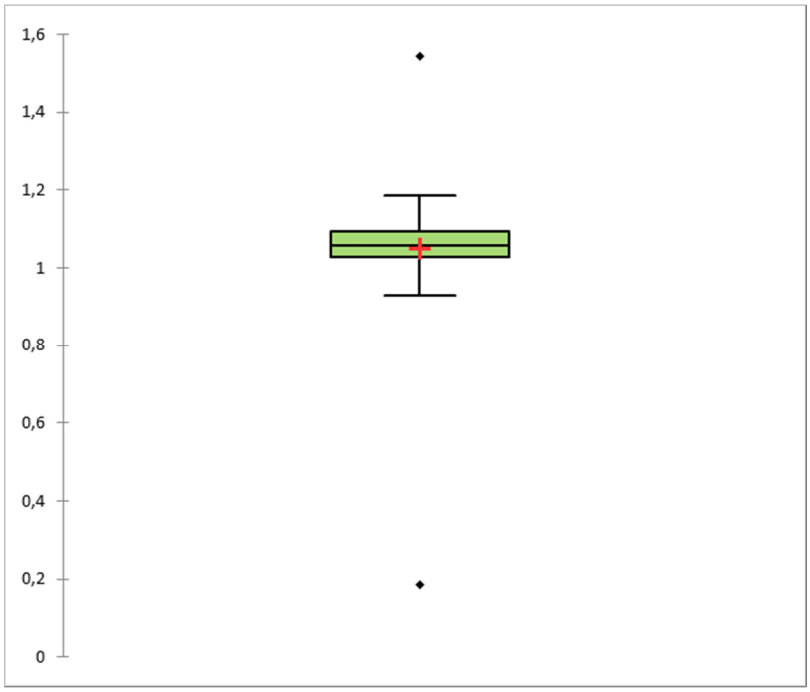
Der Vergleich zeigt eine sehr gute Übereinstimmung des nach AltfahrzeugV korrigierten Fahrzeugleergewichtes nach Fahrzeugbrief mit den Daten, die DESTATIS als Durchschnittsgewicht für Altfahrzeuge am Eingang Demontagebetriebe nennt (981 kg im Jahr 2014).

Die folgende Tabelle 149 und die Abbildung 88 stellen das Verhältnis vom gewogenen Altfahrzeuggewicht am Eingang Demontagebetrieb zum Fahrzeugleergewicht (korrigiert nach AltfahrzeugV siehe Kapitel 4.3.2.3) dar. Dabei konnten nur solche Fahrzeuge in den Vergleich einbezogen werden, für die die benötigten Daten (Leergewicht nach Fahrzeugbrief, Gewicht Eingangsverwiegung Demontagebetrieb) vorlagen (297 Stück).

Tabelle 149: Verhältnis Leergewicht gewogen / Leergewicht Brief korrigiert nach AltfahrzeugV

Statistik	Verhältnis Leergewicht gewogen zu Leergewicht Brief korrigiert nach AltfahrzeugV
Anzahl der Beobachtungen (Stück)	297
Minimum	0,184
Maximum	1,543
1. Quartil	1,027
Median	1,058
3. Quartil	1,093
Mittelwert	1,050
Varianz (n-1)	0,015
Standardabweichung (n-1)	0,124

Abbildung 88: Box plot des Verhältnisses Leergewicht gewogen / Leergewicht Brief korrigiert nach AltfahrzeugV

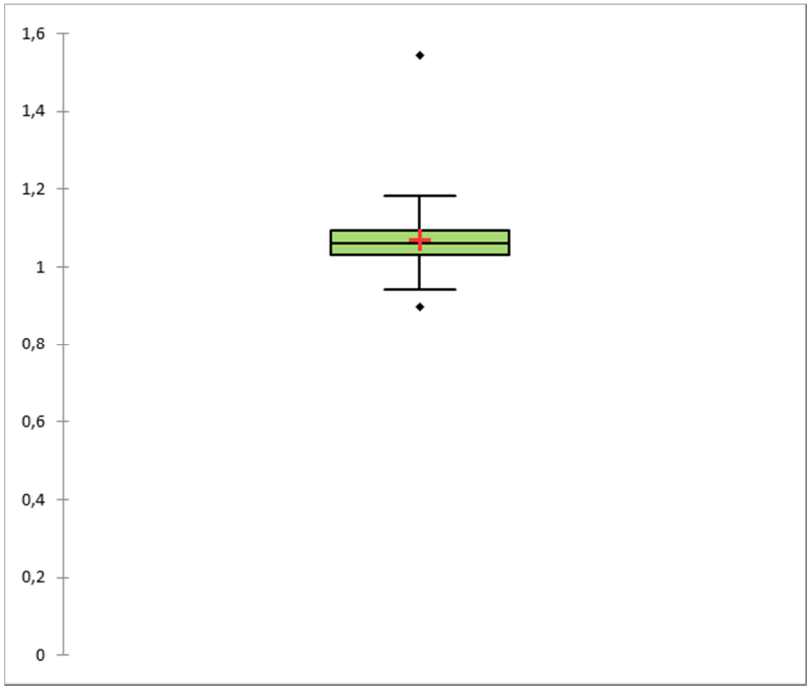


Die oben durchgeführte Betrachtung schloss unvollständige Altfahrzeuge mit ein. 97 von 425 Altfahrzeugen in der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne waren nicht vollständig (22,8 %). Tabelle 150 und Abbildung 89 zeigen die Auswertung der Daten nur für vollständige Altfahrzeuge.

Tabelle 150: Verhältnis Leergewicht gewogen - nur vollständige Altfahrzeuge / Leergewicht Brief korrigiert nach AltfahrzeugV

Statistik	Leergewicht gewogen Eingang vollst. Altfahrzeuge / Leergewicht Fahrzeugbrief korrigiert AltfahrzeugV
Anzahl der Beobachtungen (Stück)	255
Minimum	0,897
Maximum	1,543
1. Quartil	1,031
Median	1,062
3. Quartil	1,093
Mittelwert	1,069
Varianz (n-1)	0,005
Standardabweichung (n-1)	0,068

Abbildung 89: Box plot des Verhältnisses Leergewicht gewogen - nur vollständige Altfahrzeuge / Leergewicht Brief korrigiert nach AltfahrzeugV



Beim Vergleich des gewogenen Altfahrzeugleergewichtes am Eingang Demontagebetrieb zum Leergewicht nach Fahrzeugbrief korrigiert nach AltfahrzeugV werden Unterschiede in der Streubreite veranschaulicht (siehe Abbildung 90 und Abbildung 91).

Abbildung 90: Verhältnis gewogenes Eingangsgewicht AFZ zu Fahrzeugbriefgewicht (korrigiert)

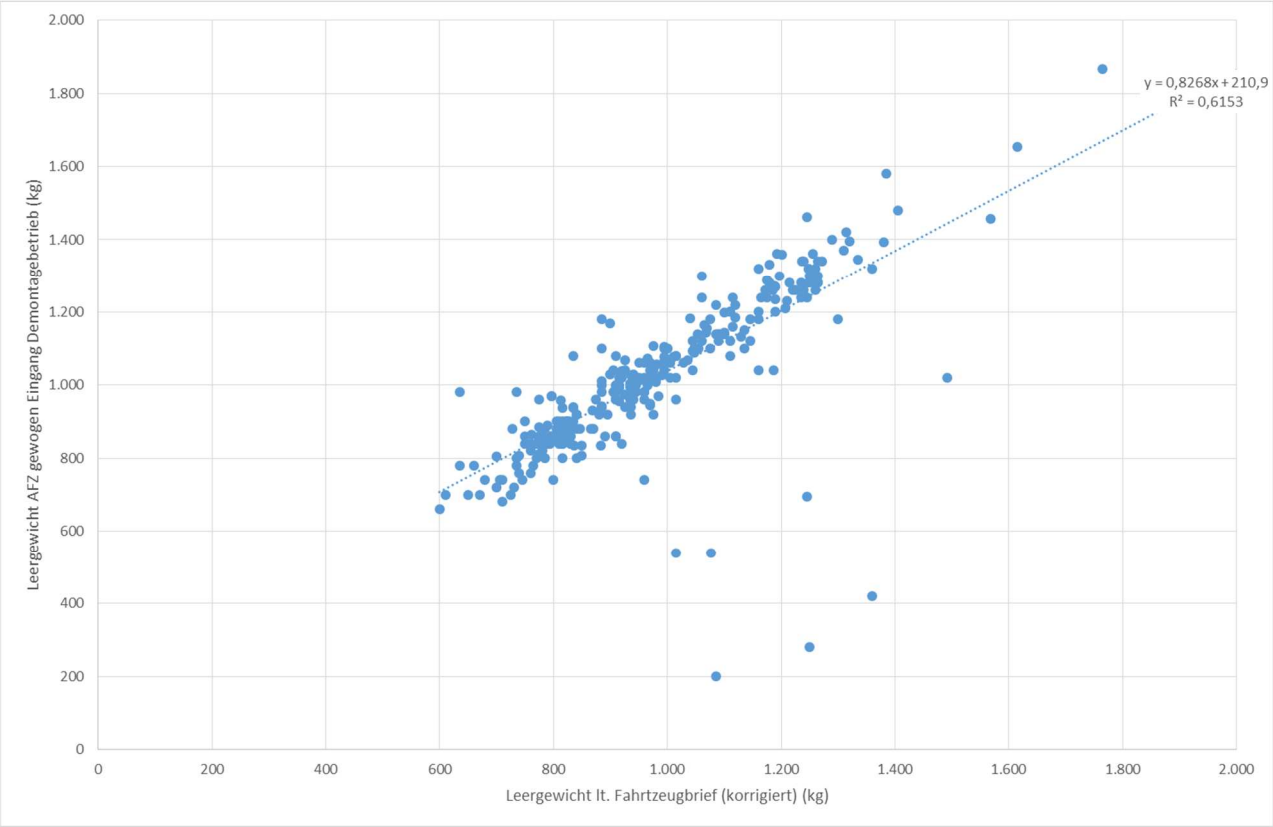
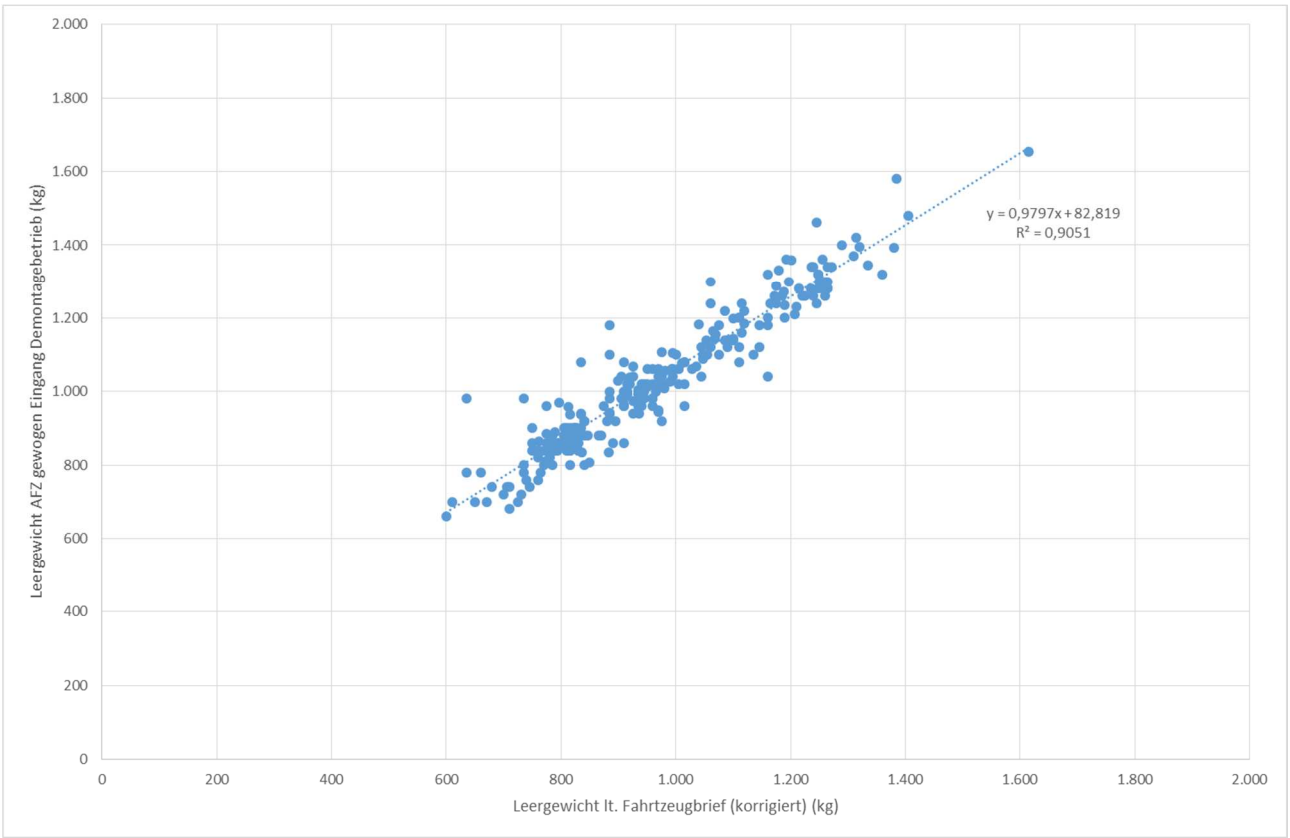


Abbildung 91: Verhältnis gewogenes Eingangsgewicht AFZ (nur vollständige AFZ) zu Fahrzeugbriefgewicht (korrigiert)



Es zeigt sich, dass das gewogene Altfahrzeugleergewicht am Eingang Demontagebetrieb geringe Differenzen zum korrigierten Altfahrzeug nach Fahrzeugbrief aufweist. Die durchgeführten Versuche ergaben somit eine Bestätigung des „Leergewichtes nach Kfz-Brief" als Basis für das Monitoring. Dies schließt ein, dass die üblicherweise im Input der Demontagebetriebe auftretenden unvollständigen Altfahrzeuge bei der Ermittlung des Inputgewichts nicht gesondert behandelt werden müssen.

Das Datum der Erstzulassung der in der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne verwerteten Fahrzeuge liegt bei 42 % der Altfahrzeuge vor dem Stichtag der AltfahrzeugV (1.1.1997) zur Berücksichtigung des Fahrers bei der Berechnung des Fahrzeugleergewichtes. In der realen Praxis kann es vorkommen, dass die Demontagebetriebe diesen Stichtag nicht beachten und das Fahrergewicht immer abziehen. Der Fehler bei der Bestimmung des Eingangsgewichtes beim Demontagebetrieb würde durch Nicht-Berücksichtigung des Datums der Erstzulassung bei den Altfahrzeugverwertungs- und Schredderversuchen bei 3 % liegen. Wenn sich in den nächsten Jahren die Erstzulassungsjahre der jeweiligen Altfahrzeuge (bei z. B. gleichbleibendem Durchschnittsalter) immer weiter zu späteren Jahrgängen verschieben, wird der resultierende Fehler zunächst größer. Wenn der Peak der Altfahrzeuge durch die Jahrgänge 1997 bis 2004 durch ist, wird der Effekt wieder abnehmen.

4.3.2.6 Empfehlungen

Das Altfahrzeuggewicht aus DESTATIS (2016) und das korrigierte Fahrzeugleergewicht nach Fahrzeugbrief aus der Kampagne stimmen sehr gut überein. Das gewogene Altfahrzeuggewicht am Eingang Demontagebetriebe und das korrigierte Fahrzeugleergewicht nach Fahrzeugbrief zeigen bei der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne ebenfalls sehr gute Übereinstimmung. Die Vorgabe aus der KOM-Entscheidung 293/2005/EG, das korrigierte Briefgewicht zu nutzen, wurde somit durch die Untersuchungen bestätigt.

Die Fahrergewichtskorrektur zwischen 1997 und 2004 wird in der StVZO und der AltfahrzeugV unterschiedlich gehandhabt. Die Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne hat eine geringe resultierende quantitative Konsequenz bei der Bestimmung der Verwertungsquoten festgestellt. Angesichts des hohen administrativen und politischen Aufwands für eine Änderung der Bestimmung des Quotennenners und der zukünftig geringer werdenden quantitativen Relevanz der Abweichung wird keine Änderung des bestehenden Vorgehens empfohlen.

Aus der Umfrage ging hervor, dass sich offenbar zumindest ein Teil der Betriebe bei der Gewichtsbestimmung der Altfahrzeuge nicht an die Vorgabe hält, das Gewicht laut Fahrzeugbrief zu bestimmen (§ 2 Abs. 1 Pkt. 23 AltfahrzeugV). Stattdessen erfolgt die Bestimmung über Schätzen, Wiegen oder Hilfsdatenquellen. Im Falle der Verwiegung führt dies wie dargestellt nicht zu einem relevanten Fehler. Inwiefern die Schätzung bzw. die Nutzung von Hilfsdatenquellen zu Fehlern führt, ist nicht bekannt. Es kann jedoch eine geringere Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Altfahrzeuggewicht vermutet werden, als bei der Nutzung des korrigierten Fahrzeugleergewichtes nach Fahrzeugbrief entsprechend § 2 Abs. 1 Pkt. 23 AltfahrzeugV. In den Fällen, in denen kein Fahrzeugbrief verfügbar ist, muss in jedem Fall eine Hilfsdatenquelle herangezogen werden, oder es muss verwogen werden. Die Betriebe sollten, für die übrigen Fällen verstärkt (z. B. durch die Branchenverbände oder Sachverständige) darauf hingewiesen werden, wie die korrekte Ermittlung der Gewichte durchzuführen ist.

4.3.3 Outputfraktionen: Demontage

Die in den Demontagebetrieben separierten und verwerteten Werkstoffe und Bauteile sind ein Bestandteil der Recycling- und Verwertungsquoten.

Derzeit genutzte Daten

Vier Aspekte sind für die Einbeziehung dieser Outputfraktionen der Demontagebetriebe in die Quotenberechnung relevant, von denen die Ersten beiden in Abschnitt 4.3.3, die Letzten beiden in Abschnitt 4.3.4 behandelt werden.

1. Art und Menge der Wertstoffe und Bauteile: Diese Information wird über die Abfallstatistik von den Demontagebetrieben über die statistischen Landesämter erhoben, unterteilt nach Abfallschlüsselnummern.
2. Herkunft der Outputfraktion: Nur die Outputfraktion, die aus der Behandlung von Altfahrzeugen stammen, dürfen bei der Quotenberechnung berücksichtigt werden.
   Hierzu wurden die Abfälle der Abfallstatistik nach Abfallschlüsselnummern vom Umweltbundesamt in Abfälle, die aus dem Altfahrzeug stammen und solche, die nicht aus dem Altfahrzeug stammen (wie Putzlappen, Bauschutt), aufgeteilt.
3. Aufteilung der Outputfraktionen in metallische und nichtmetallische Anteile: Da die Metalle pauschal in die Quote eingehen, können nur die nichtmetallischen Anteile zusätzliche Beiträge zur Quote bringen.
   Hierfür ordnete das Umweltbundesamt allen Outputfraktionen nach Abfallschlüsselnummern Metallanteile zu, die auf Informationen über die typische Zusammensetzung der Fraktionen beruhen.
4. Aufteilung der Outputfraktionen auf die Entsorgungswege stoffliche Verwertung, energetische Verwertung und Beseitigung: Die Abfallstatistik erhebt die Beseitigungsmengen und – undifferenziert – die Verwertungsmengen.
   Die Unterteilung in stoffliche und energetische Verwertung unternimmt das das Umweltbundesamt basierend auf den typischen oder bekannten Entsorgungswegen.

4.3.3.1 Aus dem Altfahrzeug stammende Outputfraktionen und ihre Abfallschlüsselnummern

Plausibilisierung der Mengen und Aktualisierung der Annahmen

Die Erhebung der Art und der Menge [kg/Altfahrzeug] der Wertstoffe und Bauteile, die durch Demontagebetriebe aus Altfahrzeugen separiert werden, erfolgte durch Primärdatenerhebungen bei den im Forschungsvorhaben beteiligten Demontagebetrieben (Zeitraum: Dezember 2015 bis Mai 2016) sowie per Fragebogen bei drei weiteren Demontagebetrieben (Bezugszeitraum: Kalenderjahr 2014). Tabelle 151 zeigt eine Gesamtübersicht über die erhobenen Outputfraktionen, die im Zuge der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne tatsächlich (tlw. in sehr geringen Mengen) angefallen sind, sortiert nach ihren Abfallschlüsselnummern (ASN). In Kapitel 4.3.3.7 wird eine Gegenüberstellung der ASN mit den bisher vom UBA als monitoringrelevant angesehenen ASN und eine Empfehlung für die zukünftige Relevanz der ASN vorgenommen.

Tabelle 151: In der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne angefallene Outputfraktionen aus Demontagebetrieben (ASN–Bezeichnung)

ASN	Bezeichnung
13*	**Ölabfälle und Abfälle aus flüssigen Brennstoffen (außer Speiseöle und Ölabfälle, die unter 05, 12 und 19 fallen)**
13 01 10*	nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis
13 02 05*	nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis
13 02 06*	synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
13 07 01*	Diesel
13 07 02*	Benzin
14*	**Abfälle aus organischen Lösemitteln, Kühlmitteln und Treibgasen (außer 07 und 08)**

ASN	Bezeichnung
14 06 01*	Fluorchlorkohlenwasserstoffe; HFCKW, HFKW
16	**Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind**
16 01 03	Altreifen
16 01 06	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten (Restkarossen)
16 01 07*	Ölfilter
16 01 13*	Bremsflüssigkeiten
16 01 14*	Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten
16 01 15	Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 160114 fallen
16 01 17	Eisenmetalle
16 01 18	Nichteisenmetalle
16 01 19	Kunststoffe
16 01 20	Glas
16 01 22 00	Bauteile a.n.g.* nicht differenzierbar
16 01 22 01	metallische Bauteile/Ersatzteile
16 01 22 02	nicht metallische Bauteile/Ersatzteile
16 02 14	gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen
16 06 01*	Bleibatterien
16 08 07*	gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
17	**Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)**
17 02 02	Glas
17 04 01	Kupfer, Bronze, Messing
17 04 11	Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 170410 fallen
17 04 02	Aluminium

Quelle: eigene Erhebung, Kapitel 0.

Zu den 17er-Schlüsseln kann gesagt werden, dass diese eigentlich nicht im Zusammenhang mit der Altfahrzeugdemontage vorgesehen sind, augenscheinlich von den Demontagebetrieben aber trotzdem benutzt werden, weil sie aus deren Sicht die passenden Schlüssel darstellen.

Im Jahresbericht zur Abfallentsorgung des Jahres 2013 (DESTATIS 2015, Tab. 9) werden weitere Outputfraktionen aus Demontagebetrieben ausgewiesen, die von den an der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne beteiligten Demontagebetrieben jedoch nicht ausgebaut wurden bzw. deren ASN nicht benutzt wurden. Diese Outputfraktionen sind in Tabelle 152 dargestellt:

Tabelle 152: Weitere Outputfraktionen aus Demontagebetrieben nach DESTATIS

ASN	Bezeichnung
13*	**Ölabfälle und Abfälle aus flüssigen Brennstoffen (außer Speiseöle und Ölabfälle, die unter 05, 12 und 19 fallen)**
13 08 99*	Abfälle a. n. g.
13 08 02*	andere Emulsionen

ASN	Bezeichnung
13 07 03*	andere Brennstoffe (einschließlich Gemische)
13 05 08*	Abfallgemische aus Sandfanganlagen und Öl-/Wasserabscheidern
13 05 03*	Schlämme aus Einlaufschächten
13 05 02*	Schlämme aus Öl-/Wasserabscheidern
13 05 01*	feste Abfälle aus Sandfanganlagen und Öl-/Wasserabscheidern
13 02 08*	andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
14*	**Abfälle aus organischen Lösemitteln, Kühlmitteln und Treibgasen (außer 07 und 08)**
14 06 03*	andere Lösemittel und Lösemittelgemische
15	**Verpackungsabfall, Aufsaugmassen, Wischtücher, Filtermaterialien und Schutzkleidung (a.n.g.)**
15 01 01	Verpackungen aus Papier und Pappe
15 02 02*	Aufsaug- und Filtermaterialien (einschließlich Ölfilter a. n. g.), Wischtücher und Schutzkleidung, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
16	**Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind**
16 01 10*	explosive Bauteile (z. B. aus Airbags)
16 06 05	andere Batterien und Akkumulatoren
16 08 01	gebrauchte Katalysatoren, die Gold, Silber, Rhenium, Rhodium, Palladium, Iridium oder Platin enthalten (außer 160807)
16 08 03	gebrauchte Katalysatoren, die Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten, a. n. g.
16 02 16 01	externe elektrische Leitungen (einschließlich Kabel)
17	**Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)**
17 04 07	gemischte Metalle
19	**Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke**
19 08 02	Sandfangrückstände
19 12 02	Eisenmetalle
20	**Siedlungsabfälle (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen), einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen**
20 01 40	Metalle
20 03 01 00	gemischte Siedlungsabfälle nicht differenzierbar

Quelle: DESTATIS (2015), Tab. 9.

4.3.3.2 Entfrachtung

Nach Nummer 3.2.2.1 des Anhangs der AltfahrzeugV sind Betreiber von Demontagebetrieben dazu verpflichtet, die in Tabelle 153 aufgeführten Bauteile und Stoffe aus Altfahrzeugen „unverzüglich“ zu entnehmen und zu sammeln oder sachgerecht zu behandeln.

Tabelle 153: Durch Demontagebetriebe im Rahmen der Vorbehandlung zu entnehmende Fraktionen

Bauteil(e)/ Betriebsmittel	Pflicht des Demontagebetriebs
Batterien	Entnahme
Flüssiggastank	Sachgerechte Behandlung
Pyrotechnische Bauteile	Demontage und anschließende Entsorgung in zugelassenen Anlagen oder Auslösung im eingebauten Zustand
Kraftstoff	Entnahme und Sammlung
Kühlerflüssigkeit	Entnahme und Sammlung
Bremsflüssigkeit	Entnahme und Sammlung
Scheibenwaschflüssigkeit	Entnahme und Sammlung
Kältemittel aus Klimaanlagen	Entnahme und Sammlung
Ölfilter	Entnahme und Sammlung
Motorenöl, Getriebeöl, Differenzialöl, Hydrauliköl und Stoßdämpferöl, sofern keine Demontage der Stoßdämpfer erfolgt	Entnahme und Sammlung

Quelle: Nummer 3.2.2.1 Anhang AltfahrzeugV.

Nach Nummer 3.2.3.2 Anhang AltfahrzeugV sind Betreiber von Demontagebetrieben verpflichtet, vor der weiteren Behandlung nachfolgende Stoffe, Materialien und Bauteile aufgrund ihres Schad- und Störstoffcharakters zu entfernen:auteil(e)/ Betriebsmittel

- Latentwärmespeicher nach Vorgabe des Herstellers,
- Stoßdämpfer, wenn nicht trockengelegt,
- asbesthaltige Bauteile,
- Kraftstoff,
- quecksilberhaltige Bauteile wie z. B. Schalter, soweit durchführbar,
- nach Anhang II der Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge in der jeweils geltenden Fassung gekennzeichnete Bauteile und Werkstoffe, die nach dem 1. Juli 2003 in Verkehr gebracht wurden,
- kraftfahrzeugfremde Stoffe.

Nachfolgend sind die Fraktionen aus der Vorbehandlung dargestellt, die bei den im Forschungsvorhaben beteiligten Demontagebetrieben (vgl. Kapitel 1) sowie drei weiteren Demontagebetrieben (vgl. Kapitel 5.3.2) (Bezugszeitraum: Kalenderjahr 2014) empirisch erhoben wurden. Die Zuordnung von „Bauteil/ Betriebsmittel nach Anhang AltfahrzeugV“ (Spalte 1) und „ASN“ (Spalte 2) erfolgte durch die Auftragnehmer. Ein Mittelwert ist nicht sinnvoll zu bilden, da die Erhebung nur in drei plus drei Betrieben mit jeweils unterschiedlichen Rahmenbedingungen erfolgte.

Tabelle 154: Art und Menge der Outputfraktionen aus der Vorbehandlung in kg/AFZ

Outputfraktion	Bauteil/ Betriebsmittel nach Anhang AltfahrzeugV	ASN	Bezeichnung	∅ Menge pro AFZ [kg] DB1 (n_1=211)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB2 (n_2=208)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB3 (n_3=6)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB 4 (n_4=682)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB 5 (n_5=2374)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB 6 (n_6=196)	Werte aus UBA Jahresbericht für 2014 (BMUB & UBA 2016)
Batterien	Batterien	16 06 01*	Bleibatterien	9,1	9,9	8,5	36,2	6,3	9,7	20,7
Flüssigkeiten (ausgenommen Kraftstoff)	Motorenöl, Getriebeöl, Differenzialöl, Hydrauliköl und Stoßdämpferöl, sofern keine Demontage der Stoßdämpfer erfolgt	13 01 10*	nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralbasis	0,0	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2
	Motorenöl, Getriebeöl, Differenzialöl, Hydrauliköl und Stoßdämpferöl, sofern keine Demontage der Stoßdämpfer erfolgt	13 02 05*	nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	2,8	0,0	0,0	23,5	6,2	8,2	
	Motorenöl, Getriebeöl, Differenzialöl, Hydrauliköl und Stoßdämpferöl, sofern keine Demontage der Stoßdämpfer erfolgt	13 02 06*	Synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	
	Kältemittel aus Klimaanlagen	14 06 01*	Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW, HFKW	0,1	0,1	0,01	0,0	0,05	0,0	
	Bremsflüssigkeit	16 01 13*	Bremsflüssigkeit	0,9	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1-5,1[17]	

Outputfraktion	Bauteil/ Betriebsmittel nach Anhang AltfahrzeugV	ASN	Bezeichnung	∅ Menge pro AFZ [kg] DB1 (n_1=211)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB2 (n_2=208)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB3 (n_3=6)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB 4 (n_4=682)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB 5 (n_5=2374)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB 6 (n_6=196)	Werte aus UBA Jahresbericht für 2014 (BMUB & UBA 2016)
	Kühlerflüssigkeit	16 01 14*	Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten	3,7	4,7	1,1	0,0	4,4	0,1-5,1[17]	
	Kühlerflüssigkeit	16 01 15	Frostschutzmittel, mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 14 fallen	0,0	0,02	3,0	3,7	0,0	0,1-5,1[17]	
	Scheibenwaschflüssigkeit	ASN unklar	Bezeichnung unklar	*Keine Daten*	*Keine Daten*	*Keine Daten*	*Keine Daten*	*Keine Daten*	*Keine Daten*	
Ölfilter	Ölfilter	16 01 07*	Ölfilter	0,5	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1-5,1[17]	0,2
Andere bei der Schadstoffbeseitigung anfallende Werkstoffe (ausgenommen Kraftstoff)	pyrotechnische Bauteile	16 01 10*	explosive Bauteile (z. B. aus Airbags)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,2

Quelle: eigene Erhebung, Kapitel 1 und Kapitel 5.3.2

[17] Der Demontagebetrieb 6 hat die Menge von „< 1 t“ angegeben; hieraus wurde die Spannweite 0,1-5,1 kg/AFZ ermittelt.

Zu beachten ist, dass in der Erhebung die Anzahl der Altfahrzeuge nicht ersichtlich ist, aus denen tatsächlich Fraktionen separiert wurden.

Bei Bleibatterien ergibt sich bei gängigen Fahrzeugmodellen eine relativ hohe Gewichtsspannbreite. Während die Bleibatterie eines Toyota Yaris (Produktion ab 1999-) ca. 8,7 kg wiegt, beläuft sich das Gewicht einer Bleibatterie bei einem BMW 5 (Produktion zwischen 2003-2010) auf knapp 28 kg. Der hohe durchschnittliche Wert pro Altfahrzeug bei Demontagebetrieb 4 von 36,2 kg ist jedoch nicht plausibel[18]. Die vergleichsweise relativ niedrigen Werte bei den anderen Demontagebetrieben (v. a. Demontagebetrieb 5 mit 6,3 kg) sind vermutlich dadurch beeinflusst, dass nicht in allen Altfahrzeugen Batterien vorhanden waren.

Bei der Gruppe „Motorenöl, Getriebeöl, Differenzialöl, Hydrauliköl und Stoßdämpferöl, („sofern keine Demontage der Stoßdämpfer erfolgt"; vgl. AltfahrzeugV) sind einige Auffälligkeiten zu beobachten. So erscheint bei der ASN 13 02 05 der hohe Durchschnittswert von 23,5 kg pro Altfahrzeug bei Demontagebetrieb 4 angesichts eines ungefähren Maximalgehalts an Motorenölen etc. von ca. 13 kg (z. B. bei 7er BMW) und eines – aufgrund der deutlich höheren Anzahl an verwerteten Kleinwagen - als plausibel anzusehenden Durchschnittswertes von ca. 6 kg/Altfahrzeug als wenig wahrscheinlich[19]. Auch der hohe Wert von 5,1 kg/Altfahrzeug an Hydraulikölen (ASN 13 01 10*) bei Demontagebetrieb 2 erscheint angesichts eines plausiblen Maximalgehalts von 0,5 kg pro Altfahrzeug als unplausibel. Es fällt auf, dass jeder Demontagebetrieb jeweils nur eine ASN für die Gruppe der Öle nennt. Dies könnte zumindest teilweise die festgestellten Auffälligkeiten erklären. Weitere mögliche Ursachen bestehen in Übertragungsfehlern oder der Vermischung mit verschiedenen weiteren Aktivitäten, wie ein Werkstättenbetrieb, durch die sich die Gesamtmenge erhöht.

Für Ölfilter besteht eine Pflicht zur Entnahme (siehe Tabelle 153). Lediglich bei drei Betrieben werden Ölfilter als spezifische Entsorgungsfraktion benannt. Angesichts einer Spannbreite zwischen ca. 100 g und 500 g pro Ölfilter bei gängigen Fahrzeugmodellen (siehe auch Kapitel 4.4) erscheinen die Angaben der Demontagebetriebe, die Ölfilter ausgebaut haben, als relativ hoch, aber noch als plausibel. Bei Demontagebetrieb 6 ist aufgrund der ungenauen Angabe (siehe Fußnote 17) keine konkrete Aussage möglich. Plausibel wäre hier ein Wert zwischen 0,1-0,5 kg/Altfahrzeug.

4.3.3.3 Separation Wertstoffe

Die Gruppe der separierten „Wertstoffe" nach AltfahrzeugV umfasst diejenigen Outputfraktionen der im Projekt beteiligten und per Fragebogen befragten Demontagebetriebe, die aus einem Altfahrzeug stammen, jedoch nicht im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen (Schadstoff-)Entfrachtung bzw. Vorbehandlung separiert werden. Diese Outputfraktionen resultieren aus der „Demontage" (vgl. Nummer 3.2.3 Anhang AltfahrzeugV). Die Demontage ist für bestimmte Bauteile und Materialen gesetzlich vorgeschrieben, für andere Bauteile und Materialien erfolgt die Demontage nach eigenem Ermessen durch die Demontagebetriebe.

Nach Nummer 3.2.3.3 Anhang AltfahrzeugV sind Betreiber von Demontagebetrieben verpflichtet, nachfolgende Bauteile, Stoffe und Materialien aus Altfahrzeugen zu entfernen (und „vorrangig der Wiederverwendung oder der stofflichen Verwertung zuführen"), bevor sie die Restkarossen an Betreiber einer Schredderanlage übergeben:

- Katalysatoren,
- Auswuchtgewichte,
- Aluminiumfelgen,

[18] Laut der Homepage des Demontagebetriebs handelt es sich um einen reinen AFZ-Demontagebetrieb mit Ersatzteilhandel. Wie es zu dem hohen Wert kommt, ist nicht bekannt.

[19] Siehe vorherige Fußnote.

- Front-, Heck- und Seitenscheiben sowie Glasdächer,
- Reifen,
- große Kunststoffbauteile wie z. B. Stoßfänger, Radkappen und Kühlergrille, wenn die entsprechenden Materialien beim oder nach dem Schreddern nicht in einer Weise getrennt werden, die eine stoffliche Verwertung ermöglicht,
- kupfer-, aluminium- und magnesiumhaltige Metallbauteile, wenn die entsprechenden Metalle nicht beim oder nach dem Schreddern getrennt werden.
- Bei den im Forschungsvorhaben beteiligten Demontagebetriebe sowie bei drei weiteren Demontagebetrieben (vgl. Kapitel 1 und Kapitel 5.3.2) werden folgende Bauteile und Wertstoffe aus Altfahrzeugen demontiert (die Zuordnung von „Bauteil nach Anhang AltfahrzeugV“ (Spalte 1) und „ASN“ (Spalte 2) erfolgte durch die Auftragnehmer):

Tabelle 155: Art und Menge der separierten Wertstoffe aus der Demontage in kg/AFZ

Wert-stoffgrup-pen	Bauteil nach An-hang Alt-fahrzeugV	ASN	Bezeichnung	∅ Menge pro AFZ [kg] DB1 (n_1=211)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB2 (n_2=208)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB3 (n_3=6)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB4 (n_4=682)	∅ Menge pro AFZ DB5 [kg] (n_5=2374)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB6 (n_6=196)	Werte KOM-Ta-belle 1
Reifen	Reifen	16 01 0 3	Altreifen	25,7	31,5	31,1	52,2	29,2	45,4	25,1
Metall-bauteile	Restka-rosse	16 01 0 6	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten (Restkarossen)	891,0	932,1	896,3	674,5	816,7	k.A.	905
	Flüssiggas-tank	16 01 16	Flüssiggasbehälter	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0 ,0	
	n. a.	16 01 1 7	Eisenmetalle	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	n. a.	16 01 1 8	Nichteisenmetalle	3,5	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	
	n. a.	16 01 2 2 01	Metallische Bauteile	9,5	14,0	0,0	74,1	0,0	117,4	
	n. a.	16 02 1 6 01	Externe elektrische Leitun-gen (einschließlich Kabel)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	n. a.	17 04 0 1	Kupfer, Bronze, Messing	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	
	n. a.	17 04 0 2	Aluminium	0,0	6,5	0,0	0,0	1,2	0,0	
	n. a.	17 04 0 5	Eisen und Stahl	0,0	27,3	34,3	0,0	0,0	0,0	
	n. a.	17 04 0 7	Gemischte Metalle	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	

Wert-stoffgrup-pen	Bauteil nach An-hang Alt-fahrzeugV	ASN	Bezeichnung	∅ Menge pro AFZ [kg] DB1 (n_1=211)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB2 (n_2=208)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB3 (n_3=6)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB4 (n_4=682)	∅ Menge pro AFZ DB5 [kg] (n_5=2374)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB6 (n_6=196)	Werte KOM-Ta-belle 1
	n. a.	17 04 1 1	Kabel mit Ausnahme derje-nigen, die unter 17 04 10 fal-len	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	
Große Kunst-stoffbau-teile	große Kunststoff-bauteile	16 01 1 9	Kunststoffe	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	2,8
Glas	Front-, Heck- und Seiten-scheiben sowie Glasdä-cher	16 01 2 0	Glas	0,0	0,04	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3
Katalysa-toren	Katalysa-toren	16 08 0 3	gebrauchte Katalysatoren, die Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthal-ten, a.n.g.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5	3,9
	Katalysa-toren	16 08 0 7*	gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	3,5	3,4	4,5	0,0	4,8	0,0	
	n. a.	16 01 1 2	Bremsbeläge ohne Asbest	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,8

Wert-stoffgrup-pen	Bauteil nach An-hang Alt-fahrzeugV	ASN	Bezeichnung	∅ Menge pro AFZ [kg] DB1 (n_1=211)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB2 (n_2=208)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB3 (n_3=6)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB4 (n_4=682)	∅ Menge pro AFZ DB5 [kg] (n_5=2374)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB6 (n_6=196)	Werte KOM-Ta-belle 1
Andere bei der DDemon-tage an-fallende Wek-stoffe	n. a.	16 01 2 2 00	Bauteile a.n.g. nicht diffe-renzierbar	0,0	0,0	0,0	0,0	8,5[20]	0,0	
	n. a.	16 01 2 2 02	Nichtmetallische Bauteile	1,1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	
	n. a.	16 02 1 4	gebrauchte Geräte mit Aus-nahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6[21]	0,0	

Quelle: Primärdatenerhebung im Rahmen der Demontageversuche und bei drei weiteren Demontagebetrieben (DB), Kapitel 1 und Kapitel 5.3.2.

[20] Aus dem Fragebogen wird nicht ersichtlich, welche genauen Bauteile unter dieser ASN summiert wurden.

[21] Aus dem Fragebogen wird nicht ersichtlich, welche genauen Bauteile unter dieser ASN summiert wurden.

Auch hier ist wieder zu beachten, dass in der Darstellung nicht ersichtlich ist, aus wie vielen Altfahrzeugen Fraktionen ausgebaut wurden.

Die Durchschnittswerte bei der Fraktion Altreifen schwanken bei den einzelnen Demontagebetrieben stark und liegen zwischen 25 – 52 kg. Die Spannbreite des Gewichts von Reifen bei verschiedenen Fahrzeugmodellen beträgt dabei zwischen ca. 20 kg (für vier Reifen) bei einem Renault Clio (1990-1994) bis hin zu ca. 40 kg (für vier Reifen) bei einer Mercedes-Benz E-Klasse (2002-2009). Die hohen Durchschnittswerte bei Demontagebetrieb 4 von ca. 52 kg[22] und bei Demontagebetrieb 6 von ca. 46 kg sind daher nur durch bspw. zusätzliche Reifen (Ersatzreifen, weitere nicht den eigentlichen Altfahrzeugen zuzurechnenden Altreifen) oder durch Übertragungsfehler erklärbar.

Bei Katalysatoren mit der ASN 16 08 03 „gebrauchte Katalysatoren, die Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten, a.n.g.“, handelt es sich nach Expertenaussage um LKW-Kats, die nicht in Fahrzeugen der Fahrzeugklasse M1 und N1 verbaut werden und demnach für das Altfahrzeugmonitoring nicht relevant sein dürften (siehe auch Kapitel 4.3.4.8) (Wegner 2016). Der hohe Wert von ca. 37 kg pro Altfahrzeug bei Demontagebetrieb 6 ist daher nicht durch Katalysatoren aus Altfahrzeugen der Fahrzeugklassen M1 oder N1 zu erklären, zumal das Gewicht von Katalysatoren bei gängigen PKW-Modellen zwischen 2 kg (Mercedes-Benz A-Klasse, Produktion 1997-2004) und ca. 8 kg (Mercedes-Benz S-Klasse, Produktion 1998-2005) liegt. Evtl. wurden hier weitere mit dem Katalysator verbundene Teile wie Hosenrohr oder Vorschalldämpfer mit ausgebaut und mit dieser Outputfraktion gewogen.

Kunststoffe und Glas (Ausnahme in sehr geringem Umfang bei Demontagebetrieb 1 und Demontagebetrieb 5) werden von keinem der Demontagebetriebe ausgebaut.

4.3.3.4 Fazit zum Bereich schadstoffhaltige Komponenten und Wertstoffe

Die Untersuchungen zeigten deutliche Abweichungen zwischen den erhobenen Werten und den Werten nach DESTATIS. Die Erhebung zu Massen schadstoffrelevanter Komponenten in Fahrzeugen im Rahmen des Forschungsvorhabens hat jedoch auch gezeigt, dass die Massen je Fahrzeug in der Praxis tatsächlich sehr breit streuen und somit die Massenströme je nach Input der Demontagebetriebe stark differieren können.

Da für viele Outputfraktionen der Demontagebetriebe eine hohe Schadstoffrelevanz besteht, sollten die Demontagebetriebe zu einem sorgfältigen Umgang mit den Mengenerhebungen angehalten werden und die Praxis im Rahmen der Anerkennung überprüft werden. Z. B. sollte in Bezug auf Flüssigkeiten die Zuordnung von Ölen zu ASN thematisiert werden.

Andere Erhebungswege anstelle der derzeit durchgeführten Erhebung über DESTATIS werden nicht als sinnvoll realisierbar angesehen. Denkbar wäre, den Schwellenwert für die Angaben von Mengen bei der Erhebung durch die statistischen Landesämter zu verringern (derzeit 0,1 t im Erhebungszeitraum), um so auch z. B. Schadstoff aus der Entfrachtung mit niedrigen Mengen zu erfassen. Dies wird jedoch für das Mengenmonitoring nicht als relevant angesehen und für die Kontrolle der ordnungsgemäßen Entfrachtung wird die Statistik nicht als sinnvolles Durchsetzungsinstrument gesehen.

Auch hinsichtlich der Wertstoffe aus der Demontage sind deutliche Unterschiede feststellbar. Hier gelten im Wesentlichen die gleichen Empfehlungen, wie für die schadstoffhaltigen Komponenten. In Bezug auf die Katalysatoren wird empfohlen, zweigleisig zu fahren, d. h. einerseits die Demontagebetriebe über die richtigen Zuordnungen zu informieren und andererseits jedoch so lange unsicher ist, wie die Demontagebetriebe in der Praxis wirklich zuordnen, beide ASN für Katalysatoren im Monitoring zu berücksichtigen.

---

[22] Laut der Homepage des Demontagebetriebs handelt es sich um einen reinen AFZ-Demontagebetrieb mit Ersatzteilhandel ohne Werkstatt. Wie es zu dem hohen Wert kommt, ist nicht bekannt.

4.3.3.5 Ersatzteile

Die Erhebung der Art sowie der Menge der Bauteile, die durch Demontagebetriebe ausgebaut werden, um diese als Ersatzteile zu wiederzuverwenden bzw. zu vermarkten, erfolgte durch Primärdatenerhebungen bei drei Demontagebetrieben (vgl. Kapitel 2) (Bezugszeitraum: Kalenderjahr 2014).

Tabelle 156: Aufteilung Ersatz- und Bauteile, metallisch/nicht metallisch aus der Vorbehandlung in kg/AFZ

Bauteil	ASN	∅ Menge pro AFZ [kg] DB1 (n_1=211)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB2 (n2=208)	∅ Menge pro AFZ [kg] DB3 (n_3=6)
metallische Bauteile/Ersatzteile	16 01 22 01	9,5	14,0	0,0
nicht metallische Bauteile/Ersatzteile	16 01 22 02	1,1	0,8	0,0

Quelle: Kapitel 2.

In den Demontageversuchen wurden nur diesen beiden ASN für alle Ersatzteile genutzt. Es ist unklar, ob andere Ersatzteile (wie Reifen, Batterien etc.) auch unter anderen ASN gefasst wurden.

In den Demontageversuchen wurden weniger Teile wiederverwendet, als in der KOM-Tabelle 1 angegeben ist (ca. 1 % vs. ca. 4 %). Es ist nicht klar, in welchem Umfang die Betriebe die Ersatzteile dokumentieren, da es sich nicht um einen Abfall-Outputstrom handelt und die Teile, wie von Stakeholdern im Rahmen des Abschlussfachgespräches betont, oftmals nicht verwogen werden. Zudem kann die Demontage der Teile durch die Kunden dazu führen, dass sich die Teile vorher nicht im Rahmen der Lagerhaltung erfasst wurden.

4.3.3.6 Restkarossen

Das Gewicht der Restkarossen beim Ausgang der Demontagebetriebe 1-3 betrug im Mittelwert 917,3 kg (n=420) (siehe Kapitel 2), mit einem Maximalgewicht von 1.866 kg und einem Minimalgewicht von 247 kg. Bezieht man in die Betrachtung nur die am Eingang des Demontagebetriebs vollständigen Altfahrzeuge ein (n=323; Maximalgewicht 1.680 kg, Minimalgewicht 400 kg), so liegt das Durchschnittgewicht bei 931 kg. Zur Frage der Gewichtsbetrachtung über die Entsorgungskette (Altfahrzeug-in, Restkarosse-out, Restkarosse-in) siehe Kapitel 4.3.7).

Das Eingangsleergewicht bei den drei Demontagebetrieben lag im Mittelwert bei 1.026,6 kg (n=420). Die Differenz zum mittleren Ausgangsleergewicht beträgt damit 109,3 kg.

Vergleicht man diese Daten aus den Demontageversuchen mit den Daten von DESTATIS aus den Jahren 2013 und 2014 (siehe Tabelle 157) fällt auf, dass die Daten bezüglich des Inputs um ca. 46 kg sehr wenig abweichen (ca. 5 %) und die des Outputs mit 95-103 kg wenig (12 % - 13 %) abweichen.

Tabelle 157: Vergleich der durchschnittlichen Leergewichte von Altfahrzeugen im Demontagebetrieb-Input und Restkarossen im Demontagebetrieb-Output in den Jahren 2013 und 2014 mit den Ergebnissen der Demontageversuche

Input DB Altfahrzeuge (Inland) nach DESTATIS (Durchschnitts-gewicht [kg/Fahrzeug]	Input Demontageversuche (Durchschnittsgewicht [kg/Fahrzeug]	Differenz (kg/Fahrzeug)	Output DB Restkarossen (In- und Ausland) nach DESTATIS(Durchschnitts-gewicht [kg/Restkarosse]	Output Demontageversuche (Durchschnittsgewicht [kg/Restkarosse]	Differenz (kg/Restkarosse)
Jahr 2013: 981	1026,6	45,6	Jahr 2013: 814	917,3	103,3
Jahr 2014: 981			Jahr 2014: 822		95,3

Quellen: DESTATIS 2014 und DESTATIS 2015

4.3.3.7 Empfehlungen

Ersatzteile/ Wiederverwendung

In den Demontagebetrieben erfolgt in einigen Fällen keine Verwiegung der verkauften Ersatzteile. Werden in diesen Fällen Angaben zur Masse der Wiederverwendung im Rahmen der Abfrage durch die statistischen Landesämter gemacht, erfolgten diese anhand unterschiedlicher Datenbasen. Teilweise existieren EDV-Systeme mit Komponentengewichten (z. B. e-car, callparts, Kunststoffteile in I-DIS). In einigen Fällen sind Pauschalgewichte, die von Demontagebetrieben angewandt werden, veraltet (Hamm 2016 mündl.).

Eine Verbesserung der Datenlage bei der Wiederverwendung kann über die Erstellung einer aktualisierten Datenbasis von Teilegewichten erreicht werden. Werden für die Entwicklung einer solchen Datenbasis die Teileverkäufe bei Demontagebetrieben genutzt, könnte eine praxisorientierte Palette der Komponenten als Basis genutzt werden.

Als Wege der Erhebung sind Spannbreiten der Gewichte aus Herstellerdaten denkbar. Ebenso wäre es möglich, eines oder mehrere „Durchschnittsfahrzeuge“ (Kleinwagen, Kombi, Baujahr bis 2000/ 2005/ 2010) zu definieren und Komponentengewichte zuzuordnen. Um diese Möglichkeit zu verifizieren, müsste anhand von Herstellerdaten der Komponentengewichte geprüft werden, ob solche Durchschnittsfahrzeuge modellierbar sind.

Eine Datenbasis zu Komponentengewichten sollte durch die Wirtschaftsbeteiligten der AltfahrzeugV erstellt werden.

Die Mengenrelevanz für das Monitoring der nationalen Quoten wird als gering eingeschätzt. Allerdings besteht hier eine sehr hohe Datenunsicherheit bei der Frage, wie abgesichert die Schätzungen der Demontagebetriebe zu den Ersatzteilgewichten sind. Zu berücksichtigen ist jedoch auch, dass für die Quoten ab dem Jahr 2015 auch die Summe kleiner Anteile relevant werden kann.

In den Fällen, in denen bei den Demontagebetrieben Unklarheiten über Berichtspflichten zu Ersatzteilen bestehen (z. B. weil die Erwartung besteht, dass Ersatzteile nicht berichtet werden müssen, da es sich um Produkte und nicht mehr um Abfall handelt), sollte eine Information der Demontagebetriebe erfolgen.

Um die Vollständigkeit der Erhebung der Ersatzteile zu verbessern, empfehlen wir, die Bezeichnung der Spalte im Abfallstatistik-Fragebogen, die für die Ersatzteile vorgesehen ist, zu ändern, um eine einfache Verständlichkeit zu sichern. Es wird empfohlen, mindestens in der Spaltenüberschrift der Spalte 7 von Kapitel 2.2 des Erhebungsbogens den Begriff „z. B. Ersatzteile“ aufzunehmen.

Bestehende Formulierungen zur Erfassung von Ersatzteilen aus der Altfahrzeugentsorgung in den Datenerhebungsbögen der statistischen Landesämter

In den „Zusätzlichen Hinweisen“ auf S. 1 des Erhebungsbogens des Statistischen Landesämter heißt es: „Anzugeben sind ferner im Frageteil 2 (Output) alle Abfälle im Sinne der §§ 2 und 3 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), das durch § 44 Absatz 4 des Gesetzes vom 22. Mai 2013 (BGBl. I S. 1324) geändert worden ist, die die Anlage verlassen, in der Spalte 07 auch solche Stoffe, die durch das durchlaufene Verwertungsverfahren die Abfalleigenschaft verloren haben. Es kann sich sowohl um feste als auch um flüssige (soweit sie nicht in Gewässer oder Abwasseranlagen eingeleitet werden) und pastöse Stoffe (Schlämme aller Art) sowie gefasste Gase handeln.“

Die Spaltenüberschrift der Spalte 7 im Kapitel 2.2 „Output der Abfallentsorgungsanlage nach Abfallschlüsseln“ des Erhebungsbogens lautet: „davon Abgabe an Direktverwerter, außerhalb von Abfallentsorgungsanlagen sowie gewonnene Sekundärrohstoffe und Produkte“.

Die Fußnote zur Spaltenüberschrift lautet: „Hierzu zählen alle Entsorgungswege, die nach keinem D- bzw. R-Verfahren nach KrWG eingestuft sind. Bitte geben Sie hier alle Stoffe, Sekundärrohstoffe, Produkte, Bauteile, Ersatzteile usw. im Output der Anlage an, die zur Verwertung in Produktions- und ähnlichen Anlagen oder an den Altstoffhandel abgegeben werden. Betreffende Stoffe ggf. ohne Schlüssel im Klartext angeben.“

Benchmark für demontierte/separierte Wertstoff- und Schadstoffmengen

Da für viele Outputfraktionen der Demontagebetriebe eine hohe Schadstoffrelevanz besteht, sollten die Demontagebetriebe zu einem sorgfältigen Umgang mit den Mengenerhebungen angehalten werden und die Praxis im Rahmen der Anerkennung überprüft werden. Z. B. sollte in Bezug auf Flüssigkeiten die Zuordnung von Ölen zu ASN thematisiert werden.

Andere Erhebungswege anstelle der derzeit durchgeführten Erhebung über DESTATIS werden nicht als sinnvoll realisierbar angesehen. Denkbar wäre, den Schwellenwert für die Angaben von Mengen bei der Erhebung durch die statistischen Landesämter zu verringern (derzeit 0,1 t im Erhebungszeitraum), um so auch z. B. Schadstoff aus der Entfrachtung mit niedrigen Mengen zu erfassen. Dies wird jedoch für das Mengenmonitoring nicht als relevant angesehen und für die Kontrolle der ordnungsgemäßen Entfrachtung wird die Statistik nicht als sinnvolles Durchsetzungsinstrument gesehen.

Auch hinsichtlich der Wertstoffe aus der Demontage sind deutliche Unterschiede feststellbar. Hier gelten im Wesentlichen die gleichen Empfehlungen, wie für die schadstoffhaltigen Komponenten. In Bezug auf die Katalysatoren wird empfohlen, zweigleisig zu fahren, d. h. einerseits die Demontagebetriebe über die richtigen Zuordnungen zu informieren und andererseits jedoch so lange unsicher ist, wie die Demontagebetriebe in der Praxis wirklich zuordnen, beide ASN für Katalysatoren im Monitoring zu berücksichtigen.

Zu Betriebsflüssigkeiten und Pflichtkomponenten aus der Demontage sollte eine Liste plausibler Erwartungsmengen erarbeitet werden, die den Monitoringbeteiligten ermöglicht, die Angaben der Statistiken bzw. der Statistikbögen zu prüfen (z. B. vor dem Hintergrund, dass teilweise aus Betrieben, die Werkstatttätigkeiten und Demontagetätigkeiten durchführen, die Abfallfraktionen wie z. B. Öl oder Glas gemeinsam entsorgt werden). Auch hier wird ein analoges Vorgehen wie im Falle der Ersatzteile vorgeschlagen, d. h., solch eine Liste sollte durch die Wirtschaftsbeteiligten erstellt werden.

Einschätzung der Monitoringrelevanz der Outputfraktionen

Tabelle 158 zeigt eine Zusammenfassung der Outputströme und eine Einschätzung der bisherigen sowie der zukünftigen Relevanz für das Monitoring. Dabei wird von einer engen Auslegung der Zuordnung von Abfällen zu Abfallschlüsseln der AVV ausgegangen, d. h., dass wenn geeignete Abfallschlüssel in den entsprechenden Kapiteln des Abfallkataloges verfügbar sind, die anderen Schlüssel in anderen Kapiteln als nicht monitoringrelevant eingestuft werden. Die Grundlage dieser Einschätzung ist somit die richtige Zuordnung der Abfälle zu den Abfallschlüsseln durch die Demontagebetriebe.

Der ASN 16 02 13* (gefährliche Bestandteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen) aus dem Kapitel zu Elektro- und Elektronikaltgeräten sollte im Prinzip von Altfahrzeugdemontagebetrieben nicht genutzt werden, da im Kapitel zu Altfahrzeugen ein geeigneter Schlüssel vorhanden ist (16 01 21* gefährliche Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen). Da die Zuordnung der entsprechenden Komponenten im Abfallkatalog jedoch nicht eindeutig ist und im Rahmen der Progress II-Erfolgskontrollen (BMUB 2016) den Elektroaltgeräten und ihren Komponenten eine wesentliche Bedeutung zukommt, wird empfohlen, ASN 16 02 13* im Monitoring mit zu berücksichtigen.

Tabelle 158: Outputströme nach ASN und Einschätzung der bisherigen und zukünftigen Relevanz für das Monitoring

Outputströme	Abfall-schlüssel	Bezeichnung Abfall	Bisherige UBA-Einstufung für Monitoring	Erhebung durch DESTATIS [2015]	Empfehlung für zukünftiges Monitoring
Batterien	160601*	Bleibatterien	Relevant	Ja	Relevant
	160602*	Ni-Cd-Batterien	Relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	160605	andere Batterien und Akkumulatoren	Relevant	Ja	Relevant
	200133*	Batterien und Akkumulatoren, die unter 16 06 01, 16 06 02 oder 16 06 03 fallen, sowie gemischte Batterien und Akkumulatoren, die solche Batterien enthalten	Relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
Flüssigkeiten (ausgenommen Kraftstoff)	130110*	nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis	Relevant	Ja	Relevant
	130204*	chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	Relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
	130205*	nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	Relevant	Ja	Relevant
	130206*	synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	Relevant	Ja	Relevant
	130208*	andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	Relevant	Ja	Relevant
	130506*	Öle aus Öl-/Wasserabscheidern	Relevant	Nein	Relevant
	160113*	Bremsflüssigkeiten	Relevant	Ja	Relevant
	160114*	Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten	Relevant	Ja	Relevant
	160115	Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 14 fallen	Relevant	Ja	Relevant
Ölfilter	160107*	Ölfilter	Relevant	Ja	Relevant

Outputströme	Abfall-schlüssel	Bezeichnung Abfall	Bisherige UBA-Einstufung für Monitoring	Erhebung durch DESTATIS [2015]	Empfehlung für zukünftiges Monitoring
Andere bei der Schadstoffbeseitigung anfallende Werkstoffe (ausgenommen Kraftstoff)	140601*	Fluorchlorkohlenwasserstoffe, H-FCKW, H-FKW	Relevant	Ja	Relevant
	160110*	explosive Bauteile (z. B. aus Airbags)	Relevant	Ja	Relevant
	160111*	asbesthaltige Bremsbeläge	Relevant	Nein	Relevant
	16012102*	gefährliche nicht metallische Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen	Relevant	Nein	Relevant
Katalysatoren	160801	gebrauchte Katalysatoren, die Gold, Silber, Rhenium, Rhodium, Palladium, Iridium oder Platin enthalten (außer 16 08 07)	Relevant	Ja	Relevant
	160802*	gebrauchte Katalysatoren, die gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten	Relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	160803	gebrauchte Katalysatoren, die Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten, a. n. g.	Relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	160807*	gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	Relevant	Ja	Relevant
Metallbauteile	160116	Flüssiggasbehälter	Relevant	Nein	Relevant
	160117	Eisenmetalle	Relevant	Ja	Relevant
	160118	Nichteisenmetalle	Relevant	Ja	Relevant
	16012101*	gefährliche metallische Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen	Relevant	Nein	Relevant
	16012201	metallische Bauteile a.n.g.	Relevant	Nein	Relevant

Outputströme	Abfall-schlüssel	Bezeichnung Abfall	Bisherige UBA-Einstufung für Monitoring	Erhebung durch DESTATIS [2015]	Empfehlung für zukünftiges Monitoring
	16021601	Externe elektrische Leitungen (einschließlich Kabel)	Relevant	Ja	Relevant
	170401	Kupfer, Bronze, Messing	Relevant	Ja	Relevant
	170402	Aluminium	Relevant	Ja	Relevant
	170403	Blei	Relevant	Nein	Relevant
	170404	Zink	Relevant	Nein	Relevant
	170405	Eisen und Stahl	Relevant	Ja	Relevant
	170407	gemischte Metalle	Relevant	Ja	Relevant
	170410*	Kabel, die Öl, Kohlenteer oder andere gefährliche Stoffe enthalten	Relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	170411	Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 04 10 fallen	Relevant	Ja	Relevant
	191001	Eisen- und Stahlabfälle	Relevant	Nein	Relevant
	191202	Eisenmetalle	Relevant	Ja	Relevant
	191203	Nichteisenmetalle	Relevant	Ja	Relevant
	200140	Metalle	Relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
Reifen	160103	Altreifen	Relevant	Ja	Relevant
Große Kunststoffteile	160119	Kunststoffe	Relevant	Ja	Relevant
Glas	160120	Glas	Relevant	Ja	Relevant
	170202	Glas	Relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
Andere bei der Demontage anfallende Werkstoffe	160112	Bremsbeläge mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 11 fallen	Relevant	Nein	Relevant
	16012202	nicht metallische Bauteile a.n.g.	Relevant	Ja	Relevant
	16012200	Bauteile a.n.g. nicht differenzierbar	Relevant	Ja	Relevant

Outputströme	Abfall-schlüssel	Bezeichnung Abfall	Bisherige UBA-Einstufung für Monitoring	Erhebung durch DESTATIS [2015]	Empfehlung für zukünftiges Monitoring
	160213*	gefährliche Bestandteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen	Relevant	Nein	Relevant
	160214	gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen	Relevant	Nein	Relevant
Output Altfahrzeuge/ Karossen (nicht in DB anrechenbar)	160104*	Altfahrzeuge	Relevant	Ja	Relevant
	160106	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten	Relevant	Ja	Relevant
Output Kraftstoff, nicht anrechenbar	130701*	Heizöl und Diesel	Relevant, aber nicht anrechenbar	Ja	Nicht monitoringrelevant
	130702*	Benzin	Relevant, aber nicht anrechenbar	Ja	Nicht monitoringrelevant
	130703*	andere Brennstoffe (einschließlich Gemische)	unbekannt, aber nicht anrechenbar	Ja	Nicht monitoringrelevant
Output, der NICHT aus dem Altfahrzeug stammt	070601*	wässrige Waschflüssigkeiten und Mutterlaugen	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	120101	Eisenfeil- und -drehspäne	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	120107*	halogenfreie Bearbeitungsöle auf Mineralölbasis (außer Emulsionen und Lösungen)	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	120109*	halogenfreie Bearbeitungsemulsionen und -lösungen	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	130501*	feste Abfälle aus Sandfanganlagen und Öl-/Wasserabscheidern	Nicht relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
	130502*	Schlämme aus Öl-/Wasserabscheidern	Nicht relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant

Outputströme	Abfall-schlüssel	Bezeichnung Abfall	Bisherige UBA-Einstufung für Monitoring	Erhebung durch DESTATIS [2015]	Empfehlung für zukünftiges Monitoring
	130503*	Schlämme aus Einlaufschächten	Nicht relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
	130507*	öliges Wasser aus Öl-/Wasserabscheidern	Nicht relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
	130508*	Abfallgemische aus Sandfanganlagen und Öl-/Wasserabscheidern	Nicht relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
	130802*	andere Emulsionen	Nicht relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
	130899*	Abfälle a. n. g.	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	140603*	andere Lösemittel und Lösemittelgemische	Nicht relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
	150101	Verpackungen aus Papier und Pappe	Nicht relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
	15010600	gemischte Verpackungen (nicht differenzierbar)	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	150110*	Verpackungen, die Rückstände gefährlicher Stoffe enthalten oder durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	150202*	Aufsaug- und Filtermaterialien (einschließlich Ölfilter a. n. g.), Wischtücher und Schutzkleidung, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	Nicht relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
	150203	Aufsaug- und Filtermaterialien, Wischtücher und Schutzkleidung mit Ausnahme derjenigen, die unter 15 02 02 fallen	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	160199	Abfälle a. n. g.	Nicht relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
	160708*	ölhaltige Abfälle	Nicht relevant	Ja	Nicht monitoringrelevant
	161002	wässrige flüssige Abfälle mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 10 01 fallen	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant

Outputströme	Abfall-schlüssel	Bezeichnung Abfall	Bisherige UBA-Einstufung für Monitoring	Erhebung durch DESTATIS [2015]	Empfehlung für zukünftiges Monitoring
	170201	Holz	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	190802	Sandfangrückstände	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	191212	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	20030100	gemischte Siedlungsabfälle nicht differenzierbar	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant
	200303	Straßenkehricht	Nicht relevant	Nein	Nicht monitoringrelevant

4.3.4 Metallanteile sowie stoffliche und energetische Verwertungsanteile

Metalle/Nichtmetalle: Da die Metalle pauschal in die Quote eingehen, können nur die nichtmetallischen Anteile der Outputfraktionen von Demontagebetrieben und Schredderanlagen zusätzliche Beiträge zur Quote bringen. Hierfür ordnete das Umweltbundesamt allen Outputfraktionen nach Abfallschlüsselnummern Metallanteile basierend auf Informationen über die typische Zusammensetzung der Fraktionen zu, siehe Spalte 3 der Tabelle in Abschnitt 4.3.4.17.

Stoffliche/energetische Verwertung: Die Abfallstatistik erhebt die Beseitigungsmengen und – undifferenziert – die Verwertungsmengen. Die Unterteilung in stoffliche und energetische Verwertung unternimmt das Umweltbundesamt basierend auf den typischen oder bekannten Entsorgungswegen, siehe Spalte 5 der Tabelle in Abschnitt 4.3.4.17.

Die Höhe des Metall- und Nichtmetallanteils der in Demontagebetrieben erzeugten Outputfraktion wurde durch einschlägige Expertenbefragungen und Literaturrecherchen näherungsweise ermittelt und den bisherigen Annahmen gegenübergestellt. Darüber hinaus wurden die Annahmen zu den Verwertungsquoten des nichtmetallischen Anteils betrachtet und auf der Grundlage von Literaturrecherchen und Expertengesprächen aktualisiert.

Eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse hinsichtlich der Metallanteile sowie der stofflichen und energetischen Verwertungsanteile der nichtmetallischen Fraktionen erfolgt in Kapitel 4.3.4.17.

In den folgenden Abschnitten wird die Herleitung der Aktualisierungsvorschläge für die einzelnen Outputfraktionen dargestellt.

4.3.4.1 Batterien

16 06 01* Blei-Säure-Batterien

Für Blei-Säure-Batterien aus konventionellen Fahrzeugen wird von EUROBAT (o.J.) die in Tabelle 159 dargestellte Zusammensetzung beschrieben.

Tabelle 159: Zusammensetzung von Blei-Säure-Batterien aus konventionellen Fahrzeugen

Fraktion	Anteil
Blei und Bleioxid:	60 Gew.-%
Elektrolyte	30 Gew.-%
Andere wie z. B. legierte Komponenten, Polymere (Separatoren, Gehäuse)	10 Gew.-%

Quelle: EUROBAT o.J., S. 14.

Vergleichbare Werte nennen Stahl et al. (2015, S. 88):

- Aktivmaterialien 36,0 %
- Ableitergitter 21,5 %
- Stromsammler und Pole 4,7 %
- Elektrolyt (Säure) 27,5 %
- Gehäuse, Separatoren, Stopfen etc. 10,3 %

Ein befragter Batterieverwerter gab an, dass die Zusammensetzung von Starterbatterien stark variiere (Milzer 2016). Die von seiner Firma verwerteten Bleibatterien bestünden zu ca. 80 % aus Blei, Bleiverbindungen, Gittermetall und sonstigen Metallen und zu ca. 20 % aus Säure, Polypropylen und einer Kunststoffrestfraktion.

In einer engen Auslegung des Monitorings müsste demnach ein Anteil von unter 60 % als metallischer Bleianteil in Blei-Säure-Batterien angenommen werden, da oxidisches Blei nicht als Metall gilt.

Die massenrelevantesten Prozesse für das Recycling von Bleibatterien sind der Drehrohrofen und nachfolgend (mit 15 % des EU-Sekundärbleiproduktion) der Hochofen (NFM BREF 2014, S. 510-511). Im Hochofenprozess werden die organischen Bestandteile energetisch genutzt, andere nicht-metallische Anteile verschlackt oder über den Abgaspfad ausgetragen. Die sulfidischen Anteile des Input eines Drehrohrofens werden zum größten Teil in der Schlacke fixiert (NFM BREF 2014, S. 511).

Das als Legierungselement verwendete Antimon kann aus dem Blei in den pyromometallurgischen Prozessen separiert und anschließend recycelt werden (EUROBAT 2014, S. 13).

Nach Angaben von Praxisakteuren wird das Polypropylen des Kunststoffgehäuses nach einer Reinigung als Regranulat in Kunststoffprodukten eingesetzt, z. B. als Radhausschalen oder Unterbodenverkleidungen (VW 2016a). Die Säure werde bspw. zu kristallinem Natriumsulfat verarbeitet, welches einen Rohstoff z. B. für die Glasindustrie darstellt.

Ein geringer Teil der Bleisäurebatterie, wie z. B. die Separatoren, die in Bleibatterien aus Polyethylen, gesintertem PVC oder Matten aus Mikroglasfaservlies (AGM) bestehen[23], können nicht verwertet werden und werden in Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt (Berzelius 2014). Auch EUROBAT (2012, S. 10) benennt als nicht verwertbaren Anteil von Blei-Säure-Batterien den Separator mit einem Gewichtsanteil von 2 % bis 7 % der Batterie.

Es können deutliche Unterschiede in den Anteilen der stofflichen und energetischen Verwertung in den EU-Mitgliedstaaten erwartet werden, abhängig vom Separationskonzept und Recyclingprozess. Eine Darstellung, der in den EU-MS angewandten Bearbeitungs- und Verwertungstechnologien ist nicht verfügbar.

Der Anteil eine Blei-Säure-Batterie am Fahrzeuggewicht schwankt sehr stark. Beispielhaft nennt EUROBAT (o. J.) für einen Wagen der Kompaktklasse (als dominanter Fahrzeugart bei Altfahrzeugverwertungsbetrieben) ein Gewicht der Batterie von 18-20 kg. Aus IDIS ergibt sich, dass die Bleibatterie eines Toyota Yaris (Produktion ab 1999-) ca. 8,7 kg wiegt. Am anderen Ende der Spannweite beläuft sich das Gewicht einer Bleibatterie bei einem BMW 5 (Produktion zwischen 2003-2010) auf knapp 28 kg.

Bei einem angenommenen Gewicht eines exemplarischen Fahrzeugmodells von 1.000 kg entspräche ein Gewicht von 20 kg/Batterie einem Gewichtsanteil von ca. 2 %. Eine Detailbetrachtung des Verbleibs von Separatoren und Kunststoffgehäuse fokussiert entsprechend den o. g. Daten auf einen Fahrzeugmasseanteil von 0,2 %.

Bei Antimon handelt es sich um einen kritischen Rohstoff nach EC (2014). Die Gitter weisen Antimongehalte zwischen 3 % und 12 % auf (EUROBAT 2014, S. 13). Üblicherweise erfolgt eine Rückgewinnung des Antimons aus den pyrometallurgischen Prozessen des Bleirecyclings.

16 06 02* Ni-Cd-Batterien

Auch bei Batterien dieser ASN handelt es sich ggf. um Pufferbatterien in Sonderausstattungen. Ansonsten ist die Verwendung von Cd in Fahrzeugen, die der AltfahrzeugV unterliegen, nur im Ausnahmefall

[23] Vgl. http://www.chemie.de/lexikon/Batterieseparator.html

16 „Batterien für Elektrofahrzeuge - als Ersatzteile für vor dem 31. Dezember 2008 in den Verkehr gebrachte Fahrzeuge“ erlaubt[24]. Solche Fahrzeuge stellen jedoch eine sehr große Ausnahme bei der Altfahrzeugdemontage im Bereich der M1- und N1-Fahrzeuge dar.

Eine Demontage kleiner bis kleinster Batterien im Rahmen der Altfahrzeugdemontage wird von Akteuren der Altfahrzeugdemontage als „nicht immer“ beschrieben. Für das weitere Vorgehen im Rahmen des Altfahrzeugmonitorings bezüglich dieser Outputfraktion siehe das vorherige Unterkapitel).

20 01 33* Batterien und Akkumulatoren, die unter 16 06 01, 16 06 02 oder 16 06 03 fallen, sowie gemischte Batterien und Akkumulatoren, die solche Batterien enthalten

Bei Batterien dieser ASN handelt es sich üblicherweise vorwiegend um quecksilberhaltige Batterien, die nicht unter der ASN 16 01 08* „quecksilberhaltige Bauteile“ entsorgt werden. Ein entsprechender Abfallschlüssel für Batterien im Kapitel 16 01 des Abfallverzeichnisses existiert nicht. Ein alternativer spezifischer Abfallschlüssel für Hg-haltige Batterien ist 16 06 03*.

Bei Hg-haltigen Batterien aus der Altfahrzeugentsorgung kann sich z. B. um Hg-haltige Knopfzellen handeln (z. B. in Fernbedienungen in Autoschlüsseln). Weitere Informationen zur Verwendung Hg-haltiger Batterien in M1- und N1- Fahrzeugen liegen nicht vor. Die Verwendung in Fahrzeugen, die der AltfahrzeugV unterliegen, ist verboten. Inwiefern die Anwendungsbeschränkung für Hg in M1- und N1-Fahrzeugen auch bei nachträglich eingebauten Sonderausstattungen realisiert wird, ist nicht bekannt.

4.3.4.2 Betriebsstoffe (ausgenommen Kraftstoff)

Maschinen-, Getriebe-, Schmieröle

Die bisherigen Annahmen hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung von Altölen aus Altfahrzeugen wurden mit Ergebnissen eines kürzlich abgeschlossenen UBA-Projekts[25] (Jepsen et al. 2016) abgeglichen und die bisherigen Annahmen für die ASN 13 02 05* „nicht chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis“ und die ASN 13 02 08* „andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle“ auf Grundlage der neuen Datengrundlage aktualisiert.

Jepsen et al. (2016) geben den Wasseranteil für die ASN 13 02 05* „nicht chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis“ mit durchschnittlich 9,5 % und für die ASN 13 02 08* „andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle“ mit durchschnittlich 11,9 % an.

Die genannten Outputfraktionen zählen zur Sammelkategorie (SK) 1. Nach § 2 (2) der AltölV sind Altöle der SK 1 zur Aufbereitung geeignet. Der genaue Anteil der Altöle der SK 1 am gesamten Altölaufkommen von Deutschland kann nicht exakt bestimmt werden. Jepsen et al. (2016) gehen unter Zugrundelegung bestimmter Annahmen jedoch von einem Anteil von 77,9 % am Gesamtaufkommen von 467.250 t im Jahr 2014 aus. Ebenfalls sind keine konkreten Informationen zum genauen Anteil von SK 1-Altölen am Input in die energetische Verwertung verfügbar. Diskussionen mit Marktakteuren im Rahmen der Studie begründen die Annahme, dass ein Mindestanteil von 10 % der Altöle in der energetischen Verwertung der Sammelkategorie 1 zuzuordnen sind. DESTATIS-Daten aus dem Jahr 2013 gehen von einem Anteil von 16 % der SK 1-Altöle in der energetischen Verwertung aus, wobei die Autoren der UBA-Studie anmerken, dass auch diese Daten mit Unsicherheiten behaftet sind. Ältere Daten

[24] Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge, konsolidierte Version Mai 2016

[25] Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (FKZ 3714 31 3270) „Erhebung der Struktur des Altölsammelmarktes und Optimierungspotenziale für bessere Altölqualitäten im Kontext der Abfallhierarchie“.

aus einer Abfrage von Sander et al. (2006) zeigen für das Jahr 2003 einen SK1-Anteil von 26,5 % in der energetischen Verwertung. Auf Basis dieser Informationen und Diskussionen mit Marktakteuren wurde die Annahme getroffen, dass der Input in die energetische Verwertung in der Kalk- und Zementindustrie zu 15 % aus SK1-Altölen besteht. Nimmt man ferner an, dass auch ein Anteil von ebenfalls 15 % des unbekannten Verbleibs der SK 1 zuzuordnen ist, ergibt dies eine stoffliche Verwertungsquote von 97,1 % und ein Anteil von 2,9 %, welcher der energetischen Verwertung bzw. dem unklaren Verbleib zuzuordnen ist.[26] Um die bestehenden Datenunsicherheiten zu berücksichtigen, wird konservativ von einem Mindestanteil von 95 % ausgegangen, der stofflich verwertet wird. Die bisherige Annahme von 85 % stofflicher und 15 % energetischer Verwertung für die Outputfraktionen mit den ASN 13 02 05* und 13 02 08* wird damit deutlich korrigiert.

Jepsen et al. (2016) gehen bei ausgeführten Fahrzeugen von einer durchschnittlichen Menge von 5,4 l Motoröl/KFZ und einer durchschnittlichen Motoröldichte von 0,85 kg/l entsprechend 4,59 kg aus. Aktuelle Erhebungen zur stofflichen Verwertung in anderen EU Mitgliedstaaten liegen nicht vor. Eine Erhebung für das Jahr 2006 zeigt jedoch erheblich Unterschiede beim Anteil der stofflichen Verwertung auf (GEIR 2008).

Chlorierte Öle[27] kommen üblicherweise in Altfahrzeugen der Klassen M1 und N1 nicht vor. Soweit Demontagebetriebe solche Mengen angeben, handelt es sich dabei entweder um Fehldeklarationen oder um Mengen aus anderen Quellen.

Hydrauliköle

Ebenso wie bei den Maschinen-, Getriebe- und Schmierölen wurden die bisherigen Annahmen hinsichtlich der stofflichen Zusammensetzung von Hydrauliköl aus Altfahrzeugen mit den Ergebnissen des oben genannten UBA-Projekts[28] abgeglichen und die bisherigen Annahmen für die ASN 13 01 10* „nicht chlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis“ aktualisiert.

Jepsen et al. (2016) geben den Wasseranteil für die ASN 13 01 10* „nicht chlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis“ mit durchschnittlich 3,9 % an.

Da es sich hierbei ebenfalls um Öle der Sammelkategorie 1 handelt, wird von einem gleichen Verhältnis an stofflicher und energetischer Verwertung ausgegangen, wie bei den Maschinen-, Getriebe-, Schmierölen (siehe vorheriges Unterkapitel).

Öl aus Öl-/Wasserabscheidern

Die Outputfraktion „Öle aus Öl-/Wasserabscheidern“ (ASN 13 05 06*) gehört zur Sammelkategorie 4. Die obigen Ausführungen zu den Motor- und Getriebeölen sind daher nicht auf diese Fraktion zu beziehen.

Öl aus Öl-/Wasserabscheidern enthalten aufgrund der Entstehungsbedingungen einen hohen Wasseranteil. Jepsen et al. (2016) weisen einen Wassergehalt von 51,8 % aus. Die gesammelten Mengen aus Öl-/Wasserabscheidern gehen zunächst in chemisch-physikalische Behandlungsanlagen, um das Öl

[26] Gesamtes Altölvorkommen aus Deutschland im Jahr 2014 (ohne Importe): 467.250 t; Anteil der SK 1 (77,9 %) daran: 363.987 t; Altöl in der energetischen Verwertung im Jahr 2014: 37.980 t; Anteil der SK 1 (15 %) daran: 5.697 t; Altöl mit unbekanntem Verbleib im Jahr 2014: 32.690 t; Anteil der SK 1 (15 %) daran: 4.903 t (1,4 % am gesamten SK 1-Aufkommen); Gesamtanteil der SK 1, der somit nicht in die stoffliche Aufbereitung gelangt: 10.600 t (=2,9 % des SK 1-Altölaufkommens).

[27] ASN 130204* „chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis“, ASN 130109* „chlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis“.

[28] Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (FKZ 3714 31 3270) „Erhebung der Struktur des Altölsammelmarktes und Optimierungspotenziale für bessere Altölqualitäten im Kontext der Abfallhierarchie“.

vom Wasser abzutrennen. Die daraus entstehenden mit der ASN 19 02 07* gekennzeichneten „Konzentrate aus Abtrennprozessen“ werden nach Jepsen et al. (2016) zu ungefähr 76 % energetisch verwertet, 11 % thermisch behandelt und 13 % stofflich verwertet, wobei diese Zahlen aufgrund einer unzureichenden Datenbasis nur das ungefähre Verhältnis widerspiegeln können. Eine zuverlässigere Aussage über den Anteil der stofflichen und energetischen Verwertung von Ölen mit der ASN 13 05 06* ist nicht möglich.

Eine Schätzung der plausiblen Menge je Altfahrzeug ist nicht möglich, da die Platzverhältnisse und die Entstehungssituation sich bei den Betrieben stark unterscheidet und von einer Vielzahl von Außeneinflüssen abhängig ist.

4.3.4.3 Andere Betriebsflüssigkeiten

Die Outputfraktion **„Bremsflüssigkeiten“ (ASN 16 01 13*)** setzt sich zu 99,8 % aus nichtmetallischen Massenanteilen und zu 0,2 % aus Wasser zusammen. In der Regel bestehen sie aus Polyglycolverbindungen mit verschiedenen Zusätzen (IPA 2016). Die bisherige Annahme, dass 33 % stofflich und 67 % energetisch verwertet würden, stehe laut einem befragten Experten im umgekehrten Verhältnis von 67 %/33 %. Ein weiterer Praxisakteur gab an, dass sogar 90 % stofflich verwertet werden könnten und lediglich ein Anteil von 10 %, der aus Störstoffen bestünde, in die energetische Verwertung geführt werde. Die Datenlage zur Beurteilung der Verwertung von Bremsflüssigkeiten in der Praxis sei jedoch insgesamt schwierig, da eine stoffliche Verwertung der gesammelten Bremsflüssigkeiten eine sortenreine Sammlung voraussetze. Dies sei besonders bei kleinen Demontagebetrieben nicht immer der Fall, da eine Getrenntsammlung für diese nicht immer wirtschaftlich sei.

Für **„Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten“ (ASN 16 01 14 *)** und **„Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 14 fallen“ (ASN 16 01 15)** wurde die Annahme auf Grundlage von Expertengesprächen leicht angepasst und ein Anteil von 90 % stofflicher und 10 % energetischer Verwertung angenommen, wobei Letzteres ebenso wie bei Bremsflüssigkeiten aus Störstoffen bestünde (Entek 2016).

Plausible Erwartungsmengen je Altfahrzeug können nicht abgeschätzt werden, da ihre Mengen bei Altfahrzeugen nach Auskunft befragter Demontagebetriebe in sehr weitem Rahmen variieren.

Ölfilter

Demontierte Ölfilter bestehen durchschnittlich zu 60 % aus Metall (überwiegend Eisen), Altöl (20 %) sowie aus weiteren Materialien (Papier, Gummi und Kunststoff) (vgl. Schäfer und Schäfer 2015, S. 542). Die bisherige Annahme der jeweiligen Massenanteile (60 % Metall/40 % Nicht-Metall) wurde durch die durchgeführten Recherchen bestätigt.

In modernen Abfallbehandlungsanlagen werden die Ölfilter zunächst zerkleinert. Anschließend wird der Großteil des Altöls mittels einer Zentrifuge separiert, so dass dieser später aufbereitet werden kann. Der Metall- und Nichtmetallanteil wird mittels eines Magnetabscheiders getrennt. Die verbleibende Restfraktion, bestehend aus Filtermaterial, Gummi und weiteren Kunststoffen, kann als Ersatzbrennstoff energetisch verwertet werden (vgl. ebd., S. 543). Die bisherige Annahme, dass der Nichtmetallanteil eines Ölfilters vollständig energetisch verwertet wird, sollte daher korrigiert werden. Das Altöl macht einen Anteil von ca. 50 % des nichtmetallischen Massenanteils eines Ölfilters aus. Unter der Annahme, dass das Altöl beinahe vollständig separiert und wie bei den Motorölen eine stoffliche Verwertung von 95 % erfolgt, wird für den nichtmetallischen Anteil eine stoffliche Verwertung von 47,5 % und eine energetische Verwertung von 52,5 % angenommen. Diese Annahme ist mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, da der Anteil, der in den beschriebenen Anlagen behandelt wird, nicht dokumentiert ist.

Kältemittel

„Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW, HFKW“ (ASN 14 06 01*) stammen aus der Entfrachtung von Klimaanlagen.

Unter die ASN 16 02 13* „gefährliche Bestandteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen“ werden FCKW-haltige Geräte gefasst, die heute jedoch mengenmäßig immer weniger relevant werden. In der Abfallstatistik des Jahres 2013 wurden keine Abfallfraktionen aus der Altfahrzeug-Demontage mit dieser ASN angegeben (DESTATIS 2015).

4.3.4.4 Explosive Bauteile (z. B. Airbags)

Die Outputfraktion ASN 160110* „explosive Bauteile“ umfasst vorrangig pyrotechnische Baugruppen aus Airbags und Gurtstraffern. Die metallischen Komponenten von Airbags bestehen aus Stahl und Aluminium, die nicht-metallischen aus Kunststoffgewebe wie Polyamid (Clean Dealership 2013; Clean Energy Project 2013). Das konkrete Verhältnis der metallischen und nicht-metallischen Massenanteile schwankt in breiten Bereichen je nachdem, um welche explosiven Bauteile es sich handelt (Fahrer-, Beifahrer-, Seiten-, Kopfstützenairbag, Gurtstraffer vorne, hinten, …) und welche Komponenten mit entsorgt werden (Zündeinheit, metallische Gehäuse, Kunststoffsack, Gurtteile, …). Übergreifende Datengrundlagen zur Zusammensetzung liegen nicht vor. Es wird empfohlen, die bisherige Annahme von 50 %/50 % für den Metall- und Nichtmetallanteil beizubehalten.

Der nicht-metallische Anteil in Airbags besteht vornehmlich aus Kunststoffgewebe. Der Ausbau von Airbags wird von Demontagebetrieben in der Regel nicht vorgenommen, sondern sie verbleiben nach der kontrollierten Zündung in den Altfahrzeugen und werden geschreddert. Dadurch ist eine separate Verwertung von Airbags selten. Sowohl im Jahr 2013 als auch in den Demontagen durch die am Projekt beteiligten Demontagebetriebe wurden wenig bis keine Airbags separiert. In den Fällen, in denen dies geschieht, scheint eine vollständige energetische Verwertung des nicht-metallischen Massenanteils zu erfolgen (VW 2016b). Daher wird die bisherige Annahme beibehalten.

4.3.4.5 Gefährliche Bauteile

Die ASN 16 01 21* „gefährliche Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen“ ist eine ASN, die für eine Vielfalt von Bauteilen genutzt werden kann, die Abfälle sind. Der Abfallsteckbrief vom Informationsportal Abfall (IPA) führt unter zu dieser ASN aus: „Dem Abfallschlüssel 160121* werden verschiedene Bauteile zugeordnet, für die kein spezifischerer Abfallschlüssel besteht. So werden in der Praxis z. T. Russpartikelfilter von Dieselmotoren dem AS 160121* zugeordnet. […] Ebenso werden Brennstoffzellen, die derzeit nur im Rahmen von Demonstrations- und Testvorhaben in Kraftfahrzeugen eingesetzt werden dem AS 160121* zugeordnet.“ Sie hat dementsprechend annähernd den Charakter einer „99er“-ASN, bezieht sich jedoch nur auf Bauteile. Die 8-stelligen Unterabfallschlüssel engen die Breite nur insofern ein, als sie sich auf metallische und nicht-metallische bzw. nicht differenzierbare Abfallbauteile beziehen. Die an der Schredderkampagne beteiligten Demontagebetriebe haben keine Bauteile unter Angabe dieser ASN ausgebaut.

Angesichts der Breite der möglichen Bauteilarten kann für die Monitoringfragen lediglich ein Orientierungswert für die Verwertungsanteile herangezogen werden (siehe Kapitel 4.3.4.17).

4.3.4.6 Bremsbeläge

Die Verwendung asbesthaltiger Bremsbeläge (ASN 16 01 11*) war in der EU bis 2005 erlaubt[29], in Deutschland trat das Herstellungs- und Verwendungsverbot bereits in 1993 in Kraft[30]. Angaben zu den metallischen Anteilen von asbesthaltigen Bremsbelägen, die heute noch in die Altfahrzeugdemontage gelangen, sind nicht verfügbar. Die Entsorgung asbesthaltiger Bremsbeläge erfolgt üblicherweise auf Deponien.

„Bremsbeläge mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 11 * fallen“ (ASN 16 01 12) werden aktuell nicht durch Demontagebetriebe aus Altfahrzeugen separiert (vgl. DESTATIS 2015) und wurden auch durch die an der aktuell durchgeführten Schredderkampagne beteiligten Demontagebetriebe nicht ausgebaut. Es ist daher davon auszugehen, dass die Fraktionen der Bremsbeläge in der Schredderoutputfraktion vorzufinden sind.

Bremsbeläge bestehen aus komplexen Kompositwerkstoffen und können nach Stahl et al. (2011, S. 9) anhand der Kategorien semi-metallisch („semi metallic“), niedrig-metallisch („low metallic“), organisch („organic“) sowie keramisch („ceramic“) unterschieden werden. Die Produktkategorien unterscheiden sich hinsichtlich des Verhältnisses der metallischen und nicht-metallischen Massenanteile: Semi-metallische Bremsbeläge bestehen zu etwa 30-65 % aus Metall und zu 35-70 % aus nicht-metallischen Stoffen, wie etwa Graphit, verschiedene Füllstoffe und Bindemittel. Niedrig-metallische Bremsbeläge bestehen zu etwa 10-30 % aus Metall (Kupfer oder Stahl) sowie aus verschiedenen Faserstoffen (wie etwa Glas, Kohlenstoff). Während keramische Bremsbeläge lediglich geringe und nicht quantifizierte metallische Anteile enthalten, bestehen organische Bremsbeläge ausschließlich aus nicht-metallischen Werkstoffen, (wie etwa Glas, Gummi und Kohlenstoff) sowie verschiedenen Harzen (vgl. ebd.). Es liegen keine Daten über die Häufigkeitsverteilung der vier Kategorien in Altfahrzeugen vor. Unter der theoretischen Annahme einer Gleichverteilung der vier Kategorien wurde die bisherige Annahme eines metallischen Massenanteils von 30 % beibehalten.

Der nichtmetallische Anteil kann nach Ausbau aus dem Altfahrzeug theoretisch vollständig stofflich verwertet werden und bei der Herstellung neuer Bremsbeläge eingesetzt werden (IPA 2016). Real ist jedoch davon auszugehen, dass die Mengen an Bremsbelägen zu gering sind und ihre Zusammensetzungen zu breit streuen, um tatsächlich wieder zu Bremsbelägen recycelt zu werden. Denkbar erscheint als stoffliche Verwertung die Nutzung z. B. als Füllstoff im Wegebau. Eine Quantifizierung der stofflichen und energetischen Verwertungsanteile ist angesichts der fehlenden Informationen zu tatsächlich genutzten Entsorgungswegen nicht möglich.

4.3.4.7 Andere bei der Demontage anfallende Werkstoffe

Unter der ASN 16 01 21 02* „gefährliche nicht metallische Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen“ haben zwei der an dem Projekt beteiligten Demontagebetriebe Ersatzteile zur Wiederverwendung angegeben, die während der Demontage ausgebaut wurden. Als Verbleibsweg wurde „Wiederverwendung/Handel“ angegeben. Im Jahr 2013 wurden im Rahmen der Berichterstattung durch DESTATIS keine Outputfraktionen mit dieser ASN angegeben.

Aufgrund der möglichen Breite der Zusammensetzung der Abfälle unter ASN ist eine konkrete Bestimmung des Anteils der stofflichen und energetischen Verwertungsanteile kaum möglich. Es wird daher

[29] Änderung der EU-Richtlinie 83/477/EWG über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Asbest am Arbeitsplatz durch die Richtlinie 2003/18/EG (Verwendung und das Inverkehrbringen von Asbest bzw. asbesthaltige Materialien untersagt, seit 2005 für alle Mitgliedsstaaten der EU verbindlich)

[30] Verordnung zur Novellierung der Gefahrenstoffverordnung und Chemikalien-Verbotsverordnung (Asbest und Zubereitungen mit einem Massengehalt an Asbest über 0,1 % dürfen nicht mehr hergestellt, verwendet oder in Verkehr gebracht werden. Ausnahme: chrysotilhaltige Ersatzteile)

davon ausgegangen, dass die metallischen Anteile entsprechend Tabelle 162 stofflich und die nichtmetallischen Anteile energetisch verwertet werden.

4.3.4.8 Katalysatoren

Katalysatoren, die aus Altfahrzeugen der Klassen M1 und N1 demontiert werden, werden in „gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind“ (ASN 16 08 07*) sowie in „gebrauchte Katalysatoren, die Gold, Silber, Rhenium, Rhodium, Palladium, Iridium oder Platin enthalten (außer 16 08 07*)“ (ASN 16 08 01), unterschieden. Auf Basis von Expertengesprächen mit Verwertern von Katalysatoren wurden die bisherigen Annahmen hinsichtlich der metallischen und nicht metallischen Massenanteile dieser beiden Outputfraktionen aktualisiert: Bei der Outputfraktion 16 08 07* handelt es sich um Keramik-Katalysatoren. Diese bestehen zu 75 % aus Metall und zu 25 % aus einem keramischen Monolith. Im Gegensatz hierzu besteht die katalytische Wabe der Altkatalysatoren, die der Outputfraktion 16 08 01 zugeordnet werden, aus einem (gefalteten) Metallblech. Der metallische Massenanteil dieser Metall-Katalysatoren beträgt 95 %, der keramische Anteil beträgt lediglich 5 %. Bei beiden Katalysatortypen besteht die katalytisch aktive Schicht aus einem Edelmetall-Gemisch (wie etwa aus Platin, Palladium und Rhodium) (Wegner 2016).

Bei Katalysatoren mit der ASN 16 08 02* „gebrauchte Katalysatoren, die gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten“ handelt es sich nach Expertenaussage um LKW-Kats, die nicht in Fahrzeugen der Fahrzeugklasse M1 und N1 verbaut werden und demnach für das Altfahrzeugmonitoring nicht relevant sein dürften. Selbiges gilt für Katalysatoren mit der ASN 16 08 03 „gebrauchte Katalysatoren, die Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten, a.n.g.“, bei denen es sich um Industrie-Katalysatoren handele (ebd.).

Die Edelmetalle auf den Trägermaterial werden in pyromometallurgischen Prozessen mit einem Sammlermetall (zumeist Kupfer) ausgeschmolzen. Das Sammlermetall mit den darin enthaltenen Edelmetallen geht in die Edelmetallscheidung, wo die reinen Edelmetalle gewonnen werden. Die Schlacke aus dem Schmelzprozess kann als Ersatzbaustoff (im Zement, Formsteine, im Straßenbau) eingesetzt werden. In der Regel seien keine Stoffe enthalten, die diese stoffliche Verwertung verhindern könnten (ebd.).

Die in den Katalysatoren enthaltenen katalytisch wirkenden Metalle sind als kritische Rohstoffe eingestuft (EU 2014).

Einige keramische Inhaltsstoffe von Katalysatoren, wie Lanthan und Cer sind als kritische Rohstoffe eingestuft (EU 2014). Großtechnische Rückgewinnungsverfahren werden derzeit nicht angewandt (ReStra 2016).

4.3.4.9 Metalle

Die DESTATIS-Berichte zur Abfallentsorgung aus Altfahrzeugdemontagebetrieben weisen eine Vielzahl von ASN für Metallabfälle auf. Dabei handelt es sich unter anderem um ASN aus dem Bereich der Abfälle, die anderswo im Verzeichnis nicht genannt sind (16-er Schlüssel), darunter auch 16 01 (aus der Demontage von Altfahrzeugen stammend), der Bauabfälle (17er-Schlüssel), der Abfallbehandlung (19er-Schlüssel) und der Siedlungsabfälle (20er-Schlüssel).

Die Struktur des europäischen Abfallkataloges ist vorrangig herkunftsbezogen orientiert. Für den Fall, dass im jeweiligen Herkunftskapitel keine entsprechende ASN verfügbar ist, können ASN aus den anderen Kapiteln genutzt werden. Mit den ASN 16 01 17 „Eisenmetalle“ und 16 01 18 „Nichteisenmetalle“ stehen für metallische Abfälle grundsätzlich alle notwendigen Schlüssel zur Verfügung. Für spezifischere Entsorgungswege benutzen Altfahrzeugdemontagebetriebe jedoch auch andere ASN, die üblicherweise mit den jeweiligen Entsorgern vereinbart sind.

Man kann daher zunächst davon ausgehen, dass auch Mengen der anderen ASN-Kapitel bei der Berichterstattung der Altfahrzeugdemontagebetriebe aus der Altfahrzeugdemontage stammen.

In der DESTATIS-Berichterstattung für das Jahr 2013 werden folgende Abfälle aus diesen Bereichen genannt, siehe Tabelle 160.

Im Jahr 2014 wurden folgende ASN von den Demontagebetrieben am häufigsten für metallische Wertstoffe und Bauteile genutzt: 16 01 17, 16 01 18, 16 01 22 01, 17 04 02, 17 04 05, 17 04 07, 17 04 11, 19 12 02.

Tabelle 160: Abfälle der Kategorie Metallische Bauteile aus der Demontage von Altfahrzeugen (nach DESTATIS im Jahr 2013)

ASN	Klartext	Kommentar
16 01 16	Flüssiggasbehälter	Bestehen bis auf sehr geringe Mengen (z. B. Dichtungen) aus Stahl
16 01 17	Eisenmetalle	Generischer Schlüssel, bei dem der nichtmetallische Anteil nicht quantifiziert ist. Die Europäische Schrottsortenliste definiert für fertig aufbereitete, stahlwerksgängige Sorten: „Alle Sorten müssen frei sein – ausgenommen unbedeutende Mengen – von anderen, nicht eisenhaltigen Metallen und nicht metallischen Stoffen“ (bvse 2016). Für Altschrotte nennt diese Quelle Anteile von < 1 %, für Schredderschrotte von < 0,4 %. Zu beachten ist, dass diese ASN auch für nicht fertig aufbereitete Outputströme genutzt wird.
16 01 18	Nichteisenmetalle	Generischer Schlüssel, bei dem der nichtmetallische Anteil nicht quantifiziert ist.
16 01 22 01	Metallische Bauteile a.n.g.	Dieser 8-stellige Unterschlüssel zum Eintrag 16 01 22 „Bauteile a.n.g.“ hat ebenfalls den Charakter eines generischen Schlüssels mit der Einschränkung, dass es sich um Bauteile handeln muss.
16 02 16 01	Externe elektrische Leitungen (einschließlich Kabel)	Siehe Erläuterungen im Kapitel 4.3.4.10
17 04 01	Kupfer, Bronze, Messing	Metallbezogener Schlüssel, bei dem der nichtmetallische Anteil nicht quantifiziert ist.
17 04 02	Aluminium	Metallbezogener Schlüssel, bei dem der nichtmetallische Anteil nicht quantifiziert ist. Wird häufiger von Demontagebetrieben genutzt.
17 04 03	Blei	Metallbezogener Schlüssel, bei dem der nichtmetallische Anteil nicht quantifiziert ist. Es kann sich z. B. um alte Auswuchtgewichte handeln, die vor dem phase-out der Bleigewichte in Verkehr gebracht oder für Reparaturen genutzt wurden. Die Verwendung für Blei aus Blei-Säure-Batterien würde die Separation aus der Batterie voraussetzen. Ansonsten ist die o. g. ASN 16 06 01* passend.
17 04 04	Zink	Metallbezogener Schlüssel, für den es nur einen allgemeineren Schlüssel im Kapitel 16 01 gibt (NE-Metalle). Es kann sich bei den Abfällen z. B. um Auswuchtgewichte handeln. Es wird von den Akteuren der Altfahrzeugdemontage jedoch als sehr unüblich beschrieben, Zinkgewichte zu demontieren. Üblicherweise entstehen solche Abfallfraktionen nur im Rahmen von Werkstatttätigkeiten.

ASN	Klartext	Kommentar
17 04 05	Eisen und Stahl	Diese ASN wird z. B. als „Auffangnummer“ für div. Mischschrotte genutzt. Sinnvoll wäre für entsprechende Abfälle aus der Altfahrzeugentsorgung der spezifische Schlüssel 16 01 17, sofern dies für Mischschrotte anwendbar ist. Wird trotzdem ab und zu von Demontagebetrieben genutzt.
17 04 07	Gemischte Metalle	Generischer Schlüssel, bei dem der nichtmetallische Anteil nicht quantifiziert ist. Ein entsprechender Schlüssel fehlt im Kapitel 16 01.
17 04 11	Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 04 10 fallen	Siehe Erläuterungen im Kapitel 4.3.4.10
19 10 01	Eisen- und Stahlabfälle	Diese generischen Schlüssel sind für Mengen aus der Altfahrzeugdemontage nicht sinnvoll, da entsprechende 16-Schlüssel verfügbar sind.
19 12 02	Eisenmetalle	
19 12 03	Nichteisenmetalle	
20 01 40	Metalle	Dieser generische Schlüssel kann für Fraktionen genutzt werden, in der Fe- und NE-Metalle gemischt vorliegen (entsprechend 17 04 07).

4.3.4.10 Kabel

Kabel werden in der Altfahrzeugdemontage-Statistik von DESTATIS unter der ASN 16 02 16 01 „Externe elektrische Leitungen (einschließlich Kabel)“ aufgeführt (DESTATIS 2015, S. 10). Dieser 8-stellige Unterschlüssel zum Eintrag 16 02 16 „aus gebrauchten Geräten entfernte Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 15 fallen“ entstammt dem Kapitel 16 02 „Abfälle aus elektrischen und elektronischen Geräten“. Er kann z. B. für separierte Kabelstränge oder einzelne Kabel genutzt werden, da ein anderer spezifischer Schlüssel im Kapitel 16 01 nicht vorhanden ist, und umfasst eine breite Palette von Kabelarten mit breit variierendem Verhältnis zwischen Isolierung und Leitungskern.

Weiterhin wird die ASN 17 04 11 „Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 04 10 fallen“ genutzt, der ein spezifischer Schlüssel aus einem anderen Herkunftskapitel und Teil des europäischen Abfallkataloges ist.

Von den im Projekt beteiligten Demontagebetrieben wurden keine Fraktionen mit der ASN 16 02 16 01 entsorgt. Die Abfallstatistik nennt für das Jahr 2013 fünf Demontagebetriebe und die Menge „0“, für das Jahr 2014 sechs Demontagebetriebe und die Menge „48 t“. Es ist daher davon auszugehen, dass die Kabelbäume überwiegend in den Altfahrzeugen verbleiben und geschreddert werden.

Ein befragter Verwerter von Kfz-Kabelbäumen gab an, dass die Variationen an in Kfz verbauten Kabeln und damit auch die Kabeldurchmesser sehr vielfältig seien und Metallanteile zwischen 20 % und 80 % möglich seien. Die überwiegend von der befragten Firma verwerteten Kabelbäume aus Alt-Kfz haben in der Regel einen durchschnittlichen Kupfer-Anteil von 35 % und sehr geringe Mengen Aluminium und Messing. Der nicht-metallische Anteil besteht hauptsächlich aus W-PVC/PE. Der Metallanteil wird in Metallhütten zu Sekundärmetallen verarbeitet. Die Kunststoffe können mit bis zu 8 % Ne-Metallen behaftet sein und werden in nachgeschalteten Aufbereitungsanlagen vom Metall gereinigt (Hoffmann und Conrad 2016).

Ein Entsorgungsweg stellt die Mischung des Kunststoffgranulats mit Siedlungsabfall dar und der anschließenden energetischen Verwertung (Hoffmann und Conrad 2016). In weiteren Expertengesprä-

chen wurde die stoffliche Verwertung von PVC angeführt (z. B. Bakenfüße). Auf Basis dieser Informationen wird daher von einer Verteilung von 50 %/50 % stoffliche und energetische Verwertung des Nichtmetallanteils ausgegangen.

4.3.4.11 Reifen

PKW-Altreifen werden unter der ASN 16 01 03 „Altreifen" geführt. Sie bestehen zu etwa 47 % aus Natur- und Synthesekautschuk, Ruß (etwa 21 %), Stahl (etwa 16,5 %), Textilien (Gewebe) (etwa 5,5 %) sowie aus Ölen und weiteren Stoffen (etwa 9,5 %) (vgl. Bayerisches Landesamt für Umwelt 2013, S. 2). Die jeweiligen Massenanteile variieren zwischen verschiedenen Reifentypen. Für die Altreifen der Fahrzeugtypen M1 und N1 wurden die o.g. Werte als Durchschnittswerte zugrunde gelegt.

Die in Europa angewandten Technologien zur Verwertung von Reifen in der Zementindustrie nutzen neben dem Energiegehalt der exotherm oxidierenden Bestandteile[31] auch andere Bestandteile, die als Volumenlieferant in die Zementmatrix integriert werden (JRC 2013). Entsprechend der oben beschriebenen Zusammensetzung ergeben sich demnach Änderungen bei den anzurechnenden stofflichen und energetischen Verwertungsanteilen für die Zementindustrie.

Weiterhin sind die Mengen zu berücksichtigen, die anderen stofflichen Verwertungswegen zuzurechnen sind. Hierzu zählen z. B. der Einsatz von Reifengranulat als Bodenbestandteil bei Sport- oder Spielplätzen.

Reifen aus Altfahrzeugen werden auch teilweise wiederverwendet. Eine Runderneuerung erfolgt in Europa bei M1- und N1-Fahrzeugreifen üblicherweise nicht zu relevanten Anteilen.

Die bisherige Annahme, dass 53 % der nichtmetallischen Anteile eines Altreifens stofflich und 47 % energetisch verwertet werden (ohne Wiederverwendung), wurde aufgrund neuer Daten leicht korrigiert, sodass nun ein Verhältnis von 54 %/46 % angesetzt wird (GAVS 2016 in Euwid 2016).[32]

4.3.4.12 Kunststoffteile

Bei der Demontage von Kunststoffteilen für die stoffliche Verwertung ist es eine wesentliche Anforderung, die Metallanteile so niedrig wie möglich zu halten, um den nachfolgenden Verwertungsprozess nicht negativ zu beeinflussen.

Die Verwertungskette für Kunststoffe ist in der Regel vielstufig. Bis zur Herstellung z. B. von Pellets erfolgt i.d.R. eine mehrstufige Auftrennung und Reinigung und ggf. eine Vermischung mit Kunststoffen aus anderen Quellen. Üblicherweise werden die abgetrennten organikreichen aber verunreinigten Bestandteile der energetischen Verwertung zugeführt. Eine übergeordnete Bilanzierung der Verluste aus diesen Vorbehandlungsschritten ist nicht verfügbar.

4.3.4.13 Glas

Der Ausbau von Glas aus Altfahrzeugen im Rahmen der Demontage erfolgt nur in einem Teil der Betriebe[33]. Ausgebautes Glas, das unter der ASN 16 01 20 entsorgt wird, kann nach Aussage von Glasverwertern wieder zu Flachglas verarbeitet werden. Die Mengen aus den Demontagebetrieben sind jedoch üblicherweise klein und die Qualitäten im Vergleich zu Glasabfällen aus anderen Quellen nicht

---

[31] Dies sind überwiegend organische Stoffe, aber zu einem geringen Anteil auch NE-Metalle, bei deren Oxidation Energie frei wird.

[32] Rechenweg: 203.000 t (Granulate & Gummimehl) + 64.000 t (Export Wieder- und Weiterverwendung)=267.000 t stoffliche Verwertung, die bei Reifen aus Altfahrzeugen vorkommen kann; 215.000 t (Zementindustrie) + 10.000 t (Export zur energetischen Verwertung) = 225.000 t energetische Verwertung bzw. Zementwerk; Gesamtmenge = 492.000 t; Summe stoffliche Verwertung= 267.000 t (=54 %); Summe energetische Verwertung= 225.000 t (=46 %).

[33] In der DESTATIS-Statistik von 2014 nannten 150 Betriebe (entsprechend ca. 10 %) eine Glasmenge.

einheitlich. Alternativ werden solche Altgläser zu Faserstoffen verwertet. In beiden Fällen zählen diese Entsorgungswege zur stofflichen Verwertung.

Der Metallanteil bei Altglas aus der Demontage von Altfahrzeugen ist üblicherweise sehr gering (Heizdrähte) (<< 1 %).

4.3.4.14 Andere bei der Demontage anfallende Outputfraktionen

Für die Aktualisierung der Metall- und Nicht-Metall-Anteile der Fraktion, die der ASN 16 01 22 00 „Bauteile a.n.g.* nicht differenzierbar“ zugeordnet werden, konnte kein geeigneter Ansprechpartner identifiziert werden. Die im Projekt beteiligten Demontagebetriebe und diejenigen Betriebe, die sich an der Umfrage beteiligt haben, verwenden diese ASN nicht.

4.3.4.15 Gebrauchte Geräte

Unter der ASN 16 02 14 „gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen“ können elektronische Komponenten, wie z. B. Steuermodule, gefasst werden. In der Abfallstatistik des Jahres 2013 (DESTATIS 2015) wurde keine Outputfraktion mit dieser ASN angegeben. Auch die an der Studie beteiligten Demontagebetriebe haben mit Ausnahme eines per Fragebogen befragten Demontagebetriebs (siehe Tabelle 155) diese ASN nicht verwendet.

Eine Abschätzung der metallischen und nicht-metallischen Anteile der Abfälle dieser ASN ist nicht möglich, da die Steuergeräte metallische (z. B. Aluminium) oder nicht-metallische (Kunststoff)Gehäuse enthalten können und der Anteil der „Umbauungen“ zu den enthaltenen Elektronikbauteilen (z. B. Leiterplatte) sehr stark variiert (siehe hierzu auch Groke et al. 2015).

Eine Anzahl der in den elektronischen Bauteilen enthaltenen Stoffe sind als kritische Rohstoffe eingestuft (z. B. Seltene Erden, Antimon) (EU 2014) und/oder weisen eine hohe Umweltrelevanz auf (siehe Kapitel 5.5, Sander et al. 2018).

Ausgebaute elektronische Bauteile werden über die Elektroaltgeräteentsorgung weiter behandelt bzw. aufbereitet. Teilweise erfolgt eine Separation von Leiterplatten, die dann der Metallrückgewinnung (Kupferhütte, Scheideanstalt) zugeführt werden. Teilweise werden die elektronischen Komponenten mit kleinen Kunststoffgehäusen der Pyrometallurgie zugeführt. Die organischen Bestandteile der Fraktionen werden in den Prozessen (Pyrometallurgie) oder nach Separationsprozessen energetisch verwertet.

Die Verwertungsprozesse für die elektronischen Komponenten sind in Bezug auf die Gesamtmassenbilanz in Europa vergleichbar, sodass einheitliche Verwertungsquoten angesetzt werden können. Eine Quantifizierung scheitert jedoch an der fehlenden Beschreibbarkeit der Kunststoffanteile an den Elektronikkomponenten, die aus den Altfahrzeugen ausgebaut werden.

4.3.4.16 Restkarossen aus Demontageanlagen

Bisher genutzte Annahme zum Anteil von Metall/Nichtmetall der Restkarossen

Metall/Nichtmetall: Für die Restkarossen, die ins Ausland zur Verwertung gehen (siehe Tabelle 3 der Kommissions-Entscheidung 2005/293/EG), wird deren Metallgehalt zur Berechnung benötigt. Bisher wird die allgemeine „Schätzung des Metallgehalts“ der Altfahrzeuge auch auf die Restkarossen angewendet.

Aktualisierung der Annahme zum Metallgehalt

Kapitel 2.9.3 zeigt die in den Schredderkampagnen ermittelten metallhaltigen Fraktionen der angenommenen Restkarossen bei den beiden Schredderbetreibern. Diese machen bei Schredderbetreiber 1 einen Anteil von 80,0 % und bei Schredderbetreiber 2 einen Anteil von 80,8 % am Gesamtinput aus. Da diese Fraktionen nicht komplett aus Metall bestehen, sondern auch Nichtmetallanteile beinhalten, hat der Schredderbetreiber 2 für diese Fraktionen den Metall- und Nichtmetallanteil geschätzt. Nach dieser Schätzung ergibt sich ein Metallanteil von 74,4 % am Schredderinput bei Schredderbetreiber 2.

Die bisherige Annahme bezüglich der Massenanteile von Metall und Nichtmetall, die auf der Beobachtung bei exportierten Restkarossen beruhen (siehe vorheriger Absatz), wurde demnach leicht korrigiert. Der Schredderbetreiber 1 hat diese Schätzung nicht durchgeführt, weswegen der Metallanteil hier nicht konkreter benannt werden kann.

Tabelle 161: Höhe der Metallanteile sowie des Nichtmetallanteils der Outputfraktionen aus der Demontage: Restkarossen

ASN	Bezeichnung	Bisherige Annahme Massenanteile Metall / Nicht-Metall	Aktualisierte Annahme Massenanteile Metall / Nicht-Metall
16 01 06	Restkarossen	73,2 % / 26,8 %	74,4 % / 25,6 %

4.3.4.17 Empfehlungen

In Tabelle 162 folgt eine zusammenfassende Darstellung der beschriebenen und aktualisierten Ergebnisse hinsichtlich der Metallanteile sowie der stofflichen und energetischen Verwertungsanteile.

Tabelle 162: Höhe der Metallanteile sowie des Nichtmetallanteils der Outputfraktionen aus der Demontage: Kunststoffteile und Glas

Outputfraktion	ASN	Bezeichnung	Bisherige Annahme Massenanteile Metall/Nicht-Metall	Aktualisierte Annahme Massenanteile Metall/Nicht-Metall	Bisherige Annahme Massenanteile Nichtmetalle stoffliche und energetische Verwertung	Aktualisierte Annahme Massenanteile Nichtmetalle stoffliche und energetische Verwertung
Metallbauteile	16 01 16	Flüssiggasbehälter	100 %/0 %	100 %/0 %	-	-
	16 01 17	Eisenmetalle	100 %/0 %	100 %0 %	-	-
	16 01 18	Nichteisenmetalle	100 %/0 %	100 %/0 %	-	-
	16 01 21 01*	Gefährliche metallische Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen	50 %/50 %	75 %/25 %	0 %/0 %	75 %/25 %
	16 02 16 01	Externe elektrische Leitungen (einschließlich Kabel)	100 %/0 %	35 %/65 %	-	50 %/50 %
	17 04 01	Kupfer, Bronze, Messing	100 %/0 %	100 %/0 %	-	-
	17 04 02	Aluminium	100 %/0 %	100 %/0 %	-	-
	17 04 03	Blei	100 %/0 %	100 %/0 %	-	-
	17 04 04	Zink	100 %/0 %	100 %/0 %	-	-
	17 04 05	Eisen und Stahl	100 %/0 %	100 %/0 %	-	-
	17 04 07	Gemischte Metalle	100 %/0 %	100 %/0 %	-	-

Outputfraktion	ASN	Bezeichnung	Bisherige Annahme Massenanteile Metall/Nicht-Metall	Aktualisierte Annahme Massenanteile Metall/Nicht-Metall	Bisherige Annahme Massenanteile Nichtmetalle stoffliche und energetische Verwertung	Aktualisierte Annahme Massenanteile Nichtmetalle stoffliche und energetische Verwertung
	17 04 11	Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 04 10 fallen	100 %/0 %	35 %/65 %	-	50 %/50 %
	19 10 01	Eisenmetalle	100 %/0 %	100 %/0 %	-	-
	19 12 03	Nichteisenmetalle	100 %/0 %	100 %/0 %	-	-
	20 01 40	Metalle	100 %/0 %	100 %/0 %	-	-
Glas	16 01 20	Glas	0 %/100 %	0 %/100 %	100 %/0 %	100 %/0 %
Große Kunststoffteile	16 01 19	Kunststoff	0 %/100 %	0 %/100 %	100 %/0 %	100 %/0 %
Reifen	16 01 03	Altreifen	0 %/100 %	16,5 %/83,5 %	53 %/47 %	54 %/46 %
Katalysatoren	16 08 01	Gebrauchte Katalysatoren, die Gold, Silber, Rhenium, Rhodium, Palladium, Iridium oder Platin enthalten (außer 16 08 07)	80 %/20 %	95 %/5 %	100 %/0 %	100 %/0 %
	16 08 02*	Gebrauchte Katalysatoren, die gefährliche Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten	80 %/20 %	95 %/5 %	100 %/0 %	100 %/0 % (nicht monitoring-relevant, siehe Kapitel 4.3.4.8)
	16 08 03	Gebrauchte Katalysatoren, die Übergangsmetalle oder deren Verbindungen enthalten, a.n.g.	80 %/20 %	95 %/5 %	100 %/0 %	100 %/0 % (nicht monitoring-relevant, siehe Kapitel 4.3.4.8)
	16 08 07*	Gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	80 %/20 %	75 %/25 %	100 %/0 %	100 %/0 %

Outputfraktion	ASN	Bezeichnung	Bisherige Annahme Massenanteile Metall/Nicht-Metall	Aktualisierte Annahme Massenanteile Metall/Nicht-Metall	Bisherige Annahme Massenanteile Nichtmetalle stoffliche und energetische Verwertung	Aktualisierte Annahme Massenanteile Nichtmetalle stoffliche und energetische Verwertung
Ölfilter	16 01 07 *	Ölfilter	60 %/40 %	60 %/40 %	0 %/100 %	47,5 %/52,5 %
Flüssigkeiten (ausgenommen Kraftstoff)	13 01 10*	Nicht chlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis	0 %/100 %	0 %/96,1 %(3,9 % Wasser)	85 %/15 %	95 %/5 %
	16 01 13*	Bremsflüssigkeiten	0 %/100 %	0 %/99,8 % (0,2 % Wasser)	33 %/67 %	67 %/33 %
	16 01 14*	Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten	0 %/33 % (67 % Wasser)	0 %/33 % (67 % Wasser)	100 %/0 %	90 %/10 %
	16 01 15	Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 14 fallen	0 %/33 % (67 % Wasser)	0 %/33 %(67 % Wasser)	100 %/0 %	90 %/10 %
	13 02 05*	Nicht chlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	0 %/100 %	0 %/90,5 % (9,5 % Wasser)	85 %/15 %	95 %/5 %
	13 02 08*	Andere Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	0 %/100 %	0 %/88,1 % (11,9 % Wasser)	85 %/15 %	95 %/5 %
	13 05 06*	Öle aus Öl-/Wasserabscheidern	0 %/5 % (95 % Wasser)	0 %/48,2 %(51,8 % Wasser)	85 %/15 %	13 %/76 %(11 %[34])

[34] Ein Anteil von ca. 11 % wird der thermischen Behandlung zugeführt.

Outputfraktion	ASN	Bezeichnung	Bisherige Annahme Massenanteile Metall/Nicht-Metall	Aktualisierte Annahme Massenanteile Metall/Nicht-Metall	Bisherige Annahme Massenanteile Nichtmetalle stoffliche und energetische Verwertung	Aktualisierte Annahme Massenanteile Nichtmetalle stoffliche und energetische Verwertung
Andere bei der Schadstoffbeseitigung anfallende Werkstoffe (ausgenommen Kraftstoff)	14 06 01*	Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW, HFKW	0 %/100 %	0 %/100 %	0 %/100 %	Aktualisierung entfällt (Annahme: Beseitigung, andernfalls 100 % energetische Verwertung)
	16 01 10 *	explosive Bauteile (z. B. aus Airbags)	50 %/50 %	50 %/50 %	0 %/100 %	0 %/100 %
	16 01 11*	Asbesthaltiger Bremsbeläge	0 %/100 %	entfällt	0 %/0 %	entfällt
	16 01 21 02*	Gefährliche nicht metallische Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen	0 %/100 %	25 %/75 %	0 %/100 %	0 %/100 %
Batterien	16 06 01 *	Bleibatterien	60 %/40 %	60 %/40 %	100 %/0 %	90 %/0 % (10 %[35])
	16 01 21*	Gefährliche Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 160107 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen	-	50 %/50 %	-	50 %/50 %
Andere bei der Demontage anfallende Werkstoffe	16 01 12	Bremsbeläge mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 11 fallen	30 %/70 %	30 %/70 %	100 %/0 %	100 %/0 %

[35] Ein Anteil von ca. 10 % wird vermutlich einer thermischen Beseitigung zugeführt.

Outputfraktion	ASN	Bezeichnung	Bisherige Annahme Massenanteile Metall/Nicht-Metall	Aktualisierte Annahme Massenanteile Metall/Nicht-Metall	Bisherige Annahme Massenanteile Nichtmetalle stoffliche und energetische Verwertung	Aktualisierte Annahme Massenanteile Nichtmetalle stoffliche und energetische Verwertung
	16 01 16	Restkarossen	73,2 %/26,8 %	74,4 %/25,6 %	-	-
	16 01 21 00*	Gefährliche Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 07 bis 16 01 11, 16 01 13 und 16 01 14 fallen, nicht differenzierbar	-	50 %/50 %	-	50 %/50 %
	16 01 22 00	Bauteile a.n.g.* nicht differenzierbar	50 %/50 %	k. A. möglich	0 %/100 %	k. A. möglich
	16 02 13 *	Gefährliche Bestandteile enthaltende gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 12 fallen	70 %/30 %	70 %/30 %	0 %/100 %	0 %/100 %
	16 02 14	Gebrauchte Geräte mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 02 09 bis 16 02 13 fallen	70 %/30 %	70 %/30 %	0 %/100 %	0 %/100 %

Insgesamt zeigte die Analyse der Metallgehalte Veränderungen mit vergleichsweise geringer Relevanz in Bezug auf die Berechnung der Gesamtquoten. Grundsätzlich führen höhere Annahmen des Metallanteils zu geringeren Quoten und umgekehrt, da die Metallanteile pauschal bereits jetzt in der Quotenermittlung enthalten sind. Teilweise lag eine mittlere bis gute Datenbasis vor (z. B. 160601* Bleibatterien, 160103 Altreifen, 160107* Ölfilter), teilweise wurden große Spannbreiten der Zusammensetzung festgestellt (z. B. 16021601 externe elektrische Leitungen), bei denen die Mittelwertsetzung vergleichsweise schwach abgesichert ist. Kaum möglich war die Mittelwertbildung z. B. aufgrund unspezifischer ASN (z. B. 16012200 Bauteile a. n. g. nicht differenzierbar, 160199 Abfälle a. n. g.).

Hinsichtlich der Anteile stofflicher und energetischer Verwertung der nichtmetallischen Anteile erfolgten die Änderungsvorschläge überwiegend in Richtung eines erhöhten Anteils stofflicher Verwertung. Auch hier konnte teilweise eine einfache Zuordnung erfolgen (z. B. Nutzung als Ersatzbrennstoff) oder eine Bestimmung beider Verwertungstypen in einem Verfahren (z. B. Zementwerk – Reifen). Teilweise war keine Zuordnung möglich (z. B. 99er-Schlüssel + „Verwertung“).

Durch eine Änderung der Erhebung durch die statistischen Landesämter, bei der zwischen stofflicher und energetischer Verwertung differenziert wird, könnte die Zuordnungsschwierigkeit durch das UBA vermieden werden und würde auf die Demontagebetriebe verlagert. Von Experten wurde angemerkt, dass den Demontagebetrieben teilweise keine Informationen vorliegen, ob die Outputströme stofflich oder energetisch verwertet wurden (pers. Kom. 2. Sitzung des Projektbeirats am 14.09.2016).

Die Massenrelevanz eines veränderten Vorgehens für das nationale Monitoring wird jedoch als gering eingestuft. Daher wird das bisherige Vorgehen für vertretbar eingeschätzt.

4.3.5 Outputfraktionen: Schredder

4.3.5.1 Relevanz des Schredderoutputs für die Quotenbestimmung und derzeitige Praxis

Schredder haben mehrere Outputs, metallische und eher nicht-metallische. Während die metallischen Outputs bei „Schätzung des Metallgehalts“ pauschal in der Quote berücksichtigt werden, sind die nichtmetallischen Outputfraktionen für die Quotenbestimmung zu ermitteln und den Entsorgungswegen zuzuordnen.

Derzeit wird ausschließlich die Outputfraktion Schredderleichtfraktion mit den Abfallschlüsselnummern 19 10 03* und 19 10 04 als nichtmetallischer Schredderoutput ausgewertet. Die Erhebungsbögen für die Abfallstatistik fragen zu diesen beiden Abfallschlüsseln nicht nur (wie es bei allen anderen Abfallströmen/Abfallschlüsseln der Fall ist) nach der Zuführung zur Verwertung oder zur Beseitigung, sondern fordern die genaue Aufschlüsselung des „letztendlichen Verbleibs“ des verwerteten Anteils ein, siehe Tabelle 163. Aus dem dargestellten Auszug aus dem Erhebungsbogen ist zu erkennen, dass ein Teil der der Verwertung zugeführten Schredderleichtfraktion „letztendlich“ auch beseitigt sein kann.

Da Schredderanlagen neben Restkarossen weitere Inputs annehmen und behandeln, kann nur der altfahrzeug-bezogene Anteil der Schredderleichtfraktion für die Quotenberechnung genutzt werden. Bisher wird hier, basierend auf groben Werten aus der Literatur, die Annahme getroffen, dass die Menge der bei der Restkarossenbehandlung entstehenden Schredderleichtfraktion 25 % des Restkarossengewichts ausmacht (BMUB & UBA 2016, Kapitel 2.1.2).

Tabelle 163: Auszug aus dem Erhebungsbogen der Abfallstatistik für Schredderanlagen zur Darstellung des letztendlichen Verbleibs der verwerteten Schredderleichtfraktion (leicht vereinfacht)

Abfallarten-schlüssel	Abfallarten/Stoffe	Abgabe zur Verwertung insgesamt [t]	davon letzt-endlich stoff-lich verwer-tet [t]	davon letzt-endlich ener-getisch ver-wertet [t]	davon letztend-lich besei-tigt [t]
19 10 03*	Schredderleichtfraktionen und Staub, die gefährliche Stoffe enthalten				
19 10 04	Schredderleichtfraktionen und Staub, mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03 fallen				

Quelle: Bayerisches Landesamt für Statistik 2015

4.3.5.2 ASN der Outputfraktionen

Das Kapitel „19 10 Abfälle aus dem Schreddern von metallhaltigen Abfällen“ des Europäischen Abfallkataloges umfasst die Abfallschlüsselnummern

- 19 10 01 Eisen und Stahlabfälle,
- 19 10 02 NE-Metall-Abfälle,
- 19 10 03* Schredderleichtfraktionen und Staub, die gefährliche Stoffe enthalten,
- 19 10 04 Schredderleichtfraktionen und Staub mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03 fallen,
- 19 10 05* andere Fraktionen, die gefährliche Stoffe enthalten,
- 19 10 06 andere Fraktionen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 05 fallen.

Dies stellt eine sehr grobe Unterteilung des Outputs der Schredder dar. Tatsächlich erfolgt in modernen Schreddern bzw. der nachgeschalteten PST eine deutliche weitergehende Differenzierung z. B. in über 20, manchmal auch über 100 Einzelfraktionen.

Um die vorgeschriebenen Altfahrzeug-Verwertungsziele zu erreichen, erfolgt in Deutschland eine weitergehende Aufbereitung der meisten Schredderoutputfraktionen in Post-Schredder-Anlagen (PST) mit einer Aufbereitung in ein Vielfaches der im Schredder anfallenden Fraktionen. Für diese in der PST erzeugten Fraktionen können in der Systematik des Europäischen Abfallkataloges zunächst die ASN der 19er-Gruppe „Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke“ genutzt werden, da es sich bei PST um „Abfallbehandlungsanlagen“ handelt. Oftmals wird in der Praxis in Deutschland die Gruppe 19 12 „Abfälle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen (z. B. Sortieren, Zerkleinern, Verdichten, Pelletieren) a. n. g.“ genutzt. Wo die ASN der 19er Gruppe nicht passen, können weiterhin ASN der anderen Kapitel des Europäischen Abfallkataloges genutzt werden.

Mit der zunehmenden Anwendung von PST ist daher eine (weitere) Verringerung der Abfälle zu erwarten, die erkennbar unter dem Begriff „Schredderleichtfraktion“ entsorgt werden.

Eine Einschätzung, welche ASN aus den Meldungen der Schredder an die statistischen Landesämter dem Output vom Schreddern von Altfahrzeugen zuzuordnen sind, wäre dementsprechend nur bezogen auf den einzelnen Schredder bzw. seine nachgeschalteten Aufbereitungsschritte möglich.

4.3.5.3 Vielfalt der nichtmetallischen Schredder-Outputfraktionen

Besieht man sich die aktuelle Aufbereitungs- und Entsorgungspraxis in Schredderanlagen, so zeigt sich, dass es zu kurz greift, nur die Abfallschlüsselnummern 19 10 03* und 19 10 04 (Schredderleichtfraktion) für die Quotenbestimmung zu betrachten.

Üblicherweise werden in modernen Schredderanlagen die Outputfraktionen bereits anlagenintern weiter aufbereitet. Hieraus ergibt sich eine Vielzahl von Fraktionen, die sich bei den einzelnen Anlagen ggf. unterscheiden. Vor dem Hintergrund des Altfahrzeug-Monitorings werden hier die Schredderfraktionen vor der Aufbereitung in PST betrachtet.

Zur Vielfalt der Outputfraktionen aus dem Schreddern von Altfahrzeugen siehe auch Kapitel 4.3.6.

Die Tabelle 164 und Tabelle 165 zeigen die von den Schredderbetreibern verwendeten ASN für Fraktionen aus der Aufbereitung von Schredderleichtfraktion, d. h. die klassischen Abfallschlüssel für die Schredderleichtfraktion werden von den in den Schredderversuch einbezogenen Betrieben nicht genutzt.

Tabelle 164: Verwendete Abfallschlüsselnummern für die Schredderleichtfraktion, deren Metallanteil und Verbleibswege bei Schredderbetreiber 1

Fraktion	Verwendete ASN	Masse [kg]	Anteil am Output Schredderanlage [%]	Geschätzter Metallanteil [%]	Masse Metall [kg]	Verwertung stofflich [%]	Verwertung energetisch [%]	Deponie [%]
Stahlprodukte	19 12 02	378	0,20	Keine Angaben	Keine Angaben	0,20		
NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	19 12 02	1.936	1,04	Keine Angaben	Keine Angaben	1,04		
Mineralik	19 12 09	8.706	4,69	Keine Angaben	Keine Angaben	4,69		
Staubfraktionen	19 01 13	41	0,02	Keine Angaben	Keine Angaben			0,02
Kunststoffe	19 12 04	441	0,24	Keine Angaben	Keine Angaben	0,24		
Ersatzbrennstoffe	19 12 10	18.987	10,24	Keine Angaben	Keine Angaben		10,24	

Quelle: eigene Erhebung, Kapitel 2.9.3.3

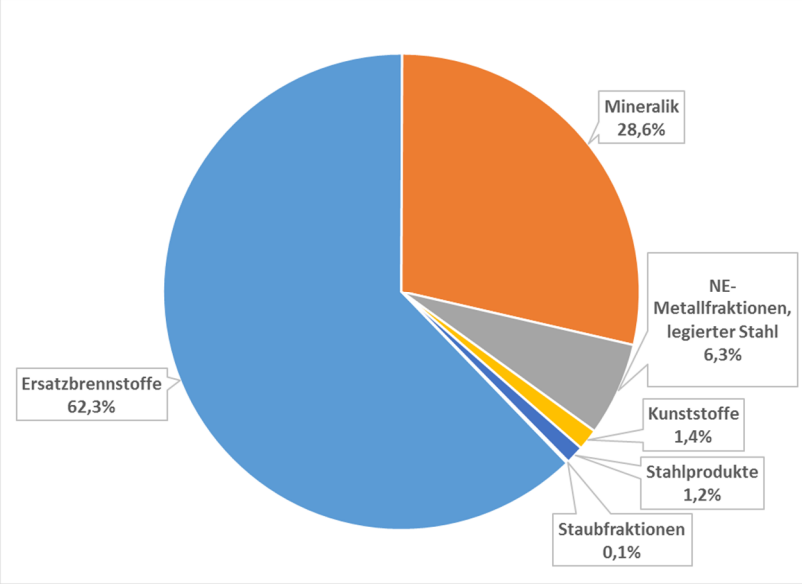
Tabelle 165: Verwendete Abfallschlüsselnummern für die Schredderleichtfraktion, deren Metallanteil und Verbleibswege bei Schredderbetreiber 2

Fraktion	Verwendete ASN	Masse [kg]	Anteil am Output Schredderanlage [%]	Geschätzter Metallanteil [%]	Masse Metall [kg]	Verwertung stofflich [%]	Verwertung energetisch [%]	Deponie [%]
Filterstaub	19 12 12	11	0,01	n. a.	n. a.			0,01
SLF fein	19 12 12	13.180	6,66	n. a.	n. a.	4,02	0,80	1,85
SLF grob	19 12 12	23.880	12,07	5,001	1194	0,51	10,36	1,20
Mischmetalle aus SLF	19 12 03	320	0,16	80,001	256	0,16		
Sorte 4 aus Überbandmagnet	19 10 01	560	0,28	90,001	504	0,28		

Quelle: eigene Erhebung, Kapitel 2.9.3.3[1] der Metallgehalt wurde geschätzt und in der Anlage J (Ergebnisse Schredderversuch Firma 2) vermerkt.

Der Anteil der jeweiligen Fraktionen an der gesamten SLF bei Schredderbetreiber 1 ist in Abbildung 92 dargestellt. Man sieht, dass die Fraktion „Ersatzbrennstoffe“ und die Fraktion „Mineralik“ bereits 90,9 % der gesamten SLF ausmachen.

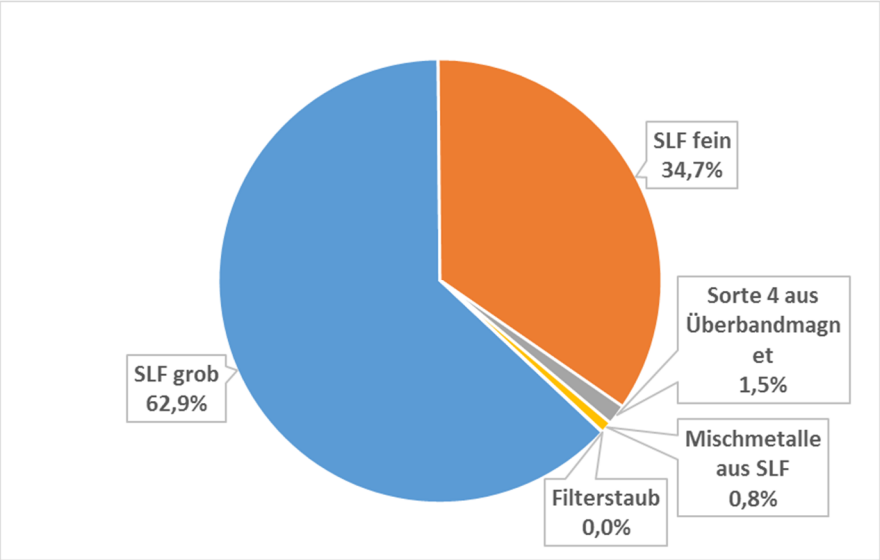
Abbildung 92: Anteile der Fraktionen an der SLF bei Schredderbetreiber 1 (in %)



Quelle: eigene Erhebung und Darstellung, Kapitel 2.9.3.3

Der Anteil der jeweiligen Fraktionen an der gesamten SLF bei Schredderbetreiber 2 ist in Abbildung 93 dargestellt. Die Fraktionen „SLF fein“ und „SLF grob“ machen hier 97,7 % der gesamten SLF aus.

Abbildung 93: Anteile der Fraktionen an der SLF bei Schredderbetreiber 2 (in %)



Quelle: eigene Erhebung und Darstellung, Kapitel 2.9.3.3

Aus Tabelle 164 und Tabelle 165 wird ersichtlich, dass die beiden Schredderbetreiber jeweils unterschiedliche ASN für gleiche Fraktionen benutzen. Während der Schredderbetreiber 1 für Stahl die ASN 19 12 02 wählt, nutzt der Schredderbetreiber 2 dafür die ASN 19 10 01. Zudem wählt der Schredderbetreiber 1 für Stahl und NE-Metall aus der SLF denselben Abfallschlüssel (19 10 02), der Schredderbetreiber 2 jedoch unterschiedliche (19 12 01 und 19 12 03). Für die Grobfraktion wählen beide Schredderbetreiber unterschiedliche ASN. Während der Schredderbetreiber 2 für alle nichtmetallischen Fraktionen denselben (sehr unspezifischen) Abfallschlüssel 19 12 12 wählt, nutzt der Schredderbetreiber 1 andere ASN und differenziert sogar in vier unterschiedliche ASN, von denen eine Nummer nicht aus dem Bereich „19 12“ ist.

Tabelle 166 zeigt einen Überblick über den Verbleib der Schredderleichtfraktion bei den beiden Schredderbetreibern aus einer Rückrechnung der Verbleibswege der aufbereiteten Fraktionen und vergleicht dies mit den für das Jahr 2013 in der Abfallstatistik der Schredderanlagen (mit Restkarossenbehandlung) von DESTATIS (2015) aufgeführten Werten, die die Summierung der Angaben der Schredder in den Abfallstatistikfragebögen darstellen. Es ist erkennbar, dass sowohl bei Schredderbetreiber 1 als auch bei Schredderbetreiber 2 weniger Anteile der SLF stofflich, sondern mehr energetisch verwertet werden, als dies für die in DESTATIS (2015) geführten Werte der Fall ist. Im Falle von Schredderbetreiber 2 geht ein deutlich höherer Anteil zudem in die Beseitigung. Aus den Zahlen ist zu schlussfolgern, dass entweder die Angaben der Schredder nicht repräsentativ sind oder aber die Daten von DESTATIS nicht stimmig sind.

Tabelle 166: Verbleib der Schredderleichtfraktion

Quelle	Stofflich [%]	Energetisch [%]	Beseitigt [%]
Schredderbetreiber 1	37,4	62,5	0,12
Schredderbetreiber 2	25,9	58,2	15,9
DESTATIS (2015) (nur Abfallschlüssel 19 10 03* und 19 10 04 – Beseitigung und letztendlicher Verbleib der zur Verwertung abgegebenen Mengen)	47,1	48,9	4

Quelle: Eigene Berechnung und DESTATIS 2015

4.3.5.4 Anteil der nichtmetallischen Schredderrückstände

Die Massenanteile der Schredderfraktionen – sowohl der metallischen als auch der nichtmetallischen – wurden in der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne und der chemischen Analytik bestimmt. Es lassen sich am Schredder vor der Aufbereitung in der PST grob drei Fraktionen unterscheiden, siehe Tabelle 167 (zur Definition von SLF und SSF siehe Kapitel 2).

Tabelle 167: Anteil der Schredderfraktionen am Intput bei den Schredderanlagen, ermittelt im Altfahrzeugmonoversuch der Altfahrzeug-Kampagne (Bezugsgröße Restkarosse Input Schredder)

Fraktion	Schredderanlage 1 Anteil [%]	Schredderanlage 2 Anteil [%]
Fe-Fraktion + Cu-Fe-Anker nach Schredder	71,6	69,5
Schredderschwerfraktion	11,6	11,0
Schredderleichtfraktion	16,4	19,2
Abweichung	0,4	0,3
Summe	100,0	100,0

Die Werte der Schredderleichtfraktion beider Anlagen in Höhe von 11,6 % bzw. 11,1 % differieren damit deutlich von dem bisher in den deutschen Jahresberichten über die Altfahrzeugverwertungsquoten angenommenen Anteil von 25 % (BMU/UBA 2016). Allerdings bezog sich der Anteil von 25 % des Restkarossen-Inputs in den Schredder auf den Gesamtanfall der nichtmetallischen Rückstände, zu denen neben der Schredderleichtfraktion auch die nichtmetallischen Anteile der SSF gehören. Tabelle 168 fasst die nichtmetallischen Rückstände für beide Schredderversuche zusammen und bezieht sie auf den jeweiligen Restkarosseninput in den Schredder.

Tabelle 168: Ableitung des Anteils der nichtmetallischen Fraktion am Restkarossengewicht

Fraktion	Anteil in Schredder 1 siehe Tabelle 167	Anteil in Schredder 2 siehe Tabelle 167
Nichtmetallischer Anteil der Schredderleichtfraktion an Schredderoutput[(1)]	16,4 % * 94 % = 15,4 %	19,2 % * 95,3 % = 18,3 %
Nichtmetallischer Anteil an der Schredderschwerfraktion an Schredderoutput [(1)]	11,6 % * 50 % = 5,8 %	11,0 % * 50,2 % = 5,5 %
Summe nichtmetallische Rückstände	**21,2 %**	**23,8 %**
Annahme: Durchschnittlicher Anteil der nichtmetallischer Rückstände in Deutschland (Mittelwert beider Schredderversuche)	**22,5 %**	

[(1)] Es ist nur der nichtmetallische Anteil der SLF und der SSF zu betrachten. Der Nichtmetall-Anteil ergibt sich für Schredderbetreiber 2 aus den Schätzungen des Schredderbetreibers zum Metallgehalt der verschiedenen Fraktionen. Da Schredderbetreiber 1 diese Schätzung nicht vorgenommen hat, werden für die SLF auf die Ergebnisse der Analytik zurückgegriffen und bei der SSF ein ähnlicher Wert wie bei Schredderbetreiber 2 angenommen.

4.3.5.5 Benennung und Quantifizierung der stofflich und energetisch verwerteten Anteile der Outputströme aus Schredderanlagen

In Tabelle 169 werden die ermittelten Ergebnisse der Schredderkampagne bezüglich der stofflich und energetisch verwerteten Outputströme den Daten der Abfallerhebung im Jahr 2013 (DESTATIS 2015) gegenübergestellt. Es werden jeweils der Anteil der Verwertung und der Anteil der Beseitigung dargestellt. Die Anteile der stofflichen und energetischen Verwertung sind analog zur Darstellung in der Abfallstatistik von DESTATIS zusammengefasst.

Tabelle 169: Vergleich der ermittelten Verwertungs- und Beseitigungsanteile an den Schredderoutputfraktionen in den Schredderversuchen 2016 mit den Daten der Abfallerhebung des Jahres 2013

Quelle	ASN	Bezeichnung	Verwertung [%]	Beseitigung [%]
DESTATIS	19 10 01	Eisen- und Stahlabfälle	99,6 %	0,4 %
Schredderbetreiber 2		Stahlschrott	100 %	0 %
		Sorte 4 aus Überbandmagnet	100 %	0 %
Schredderbetreiber 1		Stahlprodukte	100 %	0 %
DESTATIS	19 10 02	NE-Metall-Abfälle	98,6 %	1,4 %
Schredderbetreiber 1		Sonstige metallhaltige Fraktionen	100 %	0 %
DESTATIS	19 12 02	Eisenmetalle	99,96	0,04
Schredderbetreiber 1		Stahlprodukte	100 %	0 %
		NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	100 %	0 %
DESTATIS	19 12 03	Nichteisenmetalle	100 %	0 %
Schredderbetreiber 2		Mischmetalle M1	100 %	0 %
		Mischmetalle M2	100 %	0 %
		VA-Schrott	100 %	0 %
		Messing	100 %	0 %
		Kupfer	100 %	0 %
		Mischmetalle M3/M4	100 %	0 %
		Aluminium grob	100 %	0 %
		Mischmetalle aus Handklaubung SSF	100 %	0 %
		Mischmetalle aus SLF	100 %	0 %
DESTATIS	19 12 04	Kunststoff und Gummi	97,4 %	2,6 %
Schredderbetreiber 1		Kunststoffe	100 %	0 %
DESTATIS	19 12 09	Mineralien (z. B. Sand, Steine) nicht differenzierbar	40,7 %	59,1 %
Schredderbetreiber 1		Mineralik < 2 mm	100 %	0 %
		Mineralik	100 %	0 %
DESTATIS	19 12 10	Brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	98,3 %	1,7 %
Schredderbetreiber 1		Ersatzbrennstoffe	100 %	0 %
DESTATIS	19 12 12	Sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 191211 fallen	77,3 %	22,7 %
		Eisenstaub	0 %	100 %

Quelle	ASN	Bezeichnung	Verwertung [%]	Beseitigung [%]
Schredderbetreiber 2		SSF Absieb	100 %	0 %
		VA-Restfraktion fein	100 %	0 %
		VA-Restfraktion grob	100 %	0 %
		Leiterplatten	100 %	0 %
		Filterstaub	0 %	100 %
		SLF fein	72,3 %	27,7 %
		SLF grob	90,1 %	9,9 %
		Gesamt gewichtet	87,4 %	12,6 %

Quelle: DESTATIS 2015, S. 117; Daten für alle Schredder

Der in der Schredderkampagne ermittelte Verwertungs- und Beseitigungsanteil deckt sich bei den meisten ASN mit den Daten des Jahres 2013 für die Gesamtheit der deutschen Schredderanlagen (mit Restkarossenbehandlung). Starke Abweichungen ergeben sich bei der ASN 19 12 09 „Mineralien (z. B. Sand, Steine) nicht differenzierbar". Während alle Schredderanlagen hier einen durchschnittlichen Verwertungsanteil von 40,7 % und einen Beseitigungsanteil von 59,1 % angeben, werden die von dem Schredderbetreiber 1 unter dieser ASN gefassten Outputfraktionen nach dessen Angaben vollständig verwertet. Abweichungen gibt es auch bei der ASN 19 12 12, bei der der von DESTATIS ermittelte durchschnittliche Beseitigungsanteil etwas höher ist als der von dem Schredderbetreiber angegebene Wert.

4.3.5.6 Empfehlungen

In der Berichterstattung an die EU- Kommission (BMU/UBA 2016) erfolgt derzeit eine aggregierte Darstellung der Outputströme des Schredderns von Restkarossen in den Kategorien „Eisenhaltiger Schrott (Stahl)", „Nichteisenhaltige Werkstoffe (Aluminium, Kupfer, Zink, Blei usw.)", „Schredderleichtfraktion (SLF)" und „Andere", siehe Tabelle 2 der Kommissions-Entscheidung 2005/293/EG.

Die Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens haben gezeigt, dass Schredder durch die Nutzung von Post-Schredder-Technologien üblicherweise keine „SLF" oder „SSF", wie sie direkt hinter dem Schredder anfallen, mehr als Outputstrom haben. Die Outputströme der PST sind vielfältig (in einem Fall über 100 Teilströme). Zudem besteht der Input der PST auch aus anderen Teilströmen als denen, die aus dem Schreddern von Altfahrzeugen entstehen.

PST der Schredder unterscheiden sich deutlich. Die Schredderbetriebe für die Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne dieses Forschungsvorhabens waren unter anderem danach ausgesucht, hier eine große Spannbreite der Differenzierungsgrade der Stoffströme abbilden zu können. Es wurde deutlich, dass eine pauschale Bestimmung der Verhältnisse von Outputströmen für alle Schredder in Deutschland aufgrund der Unterschiedlichkeit der PST nicht möglich ist.

Sinnvoll ist daher, die SLF und SSF direkt hinter dem Schredder zu erheben und über Kampagnen der PST Schlüssel für die Aufteilung der SLF und SSF in der PST auf die Outputfraktionen der PST zu bestimmen. Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass die Schlüssel neu bestimmt werden müssen, wenn z. B. durch eine veränderte Erlös- oder Kostensituation für bestimmte Outputfraktionen die Fahrweise der PST verändert wird.

Für die Berichterstattung an die Europäische Kommission wird es als sinnvoll angesehen, statt der ursprünglichen Kategorien „Schredderleichtfraktion" und „Andere" „nichtmetallische Outputfraktionen" darzustellen. In dieser Kategorie würden dann neben den nicht-metallischen Outputfraktionen aus der

SLF-Aufbereitung auch die nicht-metallischen Outputfraktionen aus der SSF-Aufbereitung dargestellt. Die Aggregation kann aus den Erhebungen der spezifischen Situation der PST bei den Schredderbetreibern erfolgen. Denkbar wäre für diese Unterscheidung auch eine Analyse der SLF und SSF (wie hier im Forschungsvorhaben durchgeführt) und eine Zuordnung von stofflichen und energetischen Verwertungsanteilen bzw. Beseitigungsanteilen je nach PST

Empfehlung für die Aktualisierung des Anteils der Schredderleichtfraktion am Restkarosseninput

Die bisherige Annahme, dass in den deutschen Schredderanlagen Schredderleichtfraktion im Umfang von 25 % des Restkarossengewichts anfällt, sollte durch folgende Annahme ersetzt werden:

1. Statt „Schredderleichtfraktion“ sollte man lieber von „nichtmetallischen Schredderrückständen“ sprechen, da in KOM-Tabelle 3 entsprechend der Tabellenlogik neben den Fe- und NE-Metallen auch sämtliche nichtmetallischen Outputs zu erfassen sind. Hierzu gehört neben der Schredderleichtfraktion auch der nichtmetallische Anteil der Schredderschwerfraktion.
2. Gegenüber der EU-Kommission sollte angeregt werden, dass die Bezeichnung in Tabelle 3 der Kommissions-Entscheidung 2005/293/EG entsprechend von „Schredderleichtfraktion“ in „Nichtmetallische Schredderrückstände“ geändert werden sollte.
3. Aus den in den Schredderversuchen ermittelten Anteilen an Schredderleichtfraktion und nichtmetallischer Schredderschwerfraktion empfehlen wir folgenden Prozentsatz als Anteil der nichtmetallische Schredderrückstände am Restkarossengewicht: 22,5 %, siehe Herleitung in Tabelle 168.

Zu den einzubeziehenden Abfallschlüsselnummern und Verbleibswegen siehe Abschnitt 4.3.5.3.

Vorschläge für eine mittelfristige Veränderung des Monitoringsystems sind in Kapitel 4.4 dargestellt.

4.3.6 Höhe des verwerteten Anteils des Metallgehalts von Altfahrzeugen

4.3.6.1 Einführung zum Thema und bisherige Praxis

Die „Schätzung des Metallgehalts“ setzt sich aus zwei Größen zusammen (DESTATIS 2015): Der durchschnittliche Metallgehalt der Altfahrzeuge wird aus Daten der Fahrzeughersteller ermittelt. Für den Anteil dieses Metallgehalts, der tatsächlich verwertet wird, wird seit Beginn der Quotenermittlung in Deutschland ein Schätzwert von 97 % genutzt. Es wird davon ausgegangen, dass (maximal) 3 % der Metalle nicht verwertet werden, sondern im Behandlungsprozess für die Verwertung „verloren“ gehen.

4.3.6.2 Rückrechnung des Metallgehalts der Altfahrzeuge

Deutschland wendet die Methode „Schätzung des Metallgehaltes“ nach Artikel 1 Abs. 2 der Entscheidung der Kommission 2005/293/EG an (BMUB & UBA 2015), bei der der verwertete Metallanteil in den Altfahrzeugen auf der Grundlage einer repräsentativen Fahrzeugauswahl bestimmt und pauschal in den Verwertungsquoten berücksichtigt wird. Das folgende Kapitel zeigt zum Vergleich die Metallgehalte auf, die in der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne im Rahmen dieses Forschungsvorhabens festgestellt wurden.

Die durchgeführten Analysen für die Schredderfraktionen ergaben die in Tabelle 170 und Tabelle 171 dargestellten Metall- und Nichtmetallanteile der geschredderten Restkarossen.

Im Rahmen der Schredderkampagne in diesem Projekt hat der Schredderbetreiber 2 den Metallgehalt der metallhaltigen Fraktionen aus den Restkarossen geschätzt. Dabei wurde angenommen, dass der Metallgehalt der Fe-Fraktion (inkl. Cu-Fe-Anker) 97,9 %, der SSF 49,8 % und der SLF 7,9 % beträgt.

Aus den Ergebnissen der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne wurde in einer Annäherung der Metallgehalt der Altfahrzeuge bestimmt, um die bisherige Schätzung zu verifizieren (siehe Tabelle 170).

Tabelle 170: Durchschnittlicher Metallanteil der 211 Altfahrzeuge in Demontagebetrieb 1 + Schredderbetrieb 1, rückgerechnet aus den metallischen Outputfraktionen aus der Demontage und dem Schreddern

Gewogener Altfahrzeuginput Gesamt ohne Kraftstoff [kg]	Separierter Metallanteil DB 1 [kg]	Metallgehalt Restkarossen Schredder 1 [kg]	Metallmenge im Altfahrzeug-Input Gesamt [kg]	Metallanteil am Altfahrzeug-Input Gesamt [%]
209.430	10.600	149.041	159.641	76 %

Anmerkung: Durch den Verlust eines Altfahrzeugs zwischen Demontagebetrieb und Schredder ergibt sich eine potenzielle Abweichung von< 0,5 %.

Die Daten bei den Demontagebetrieben 2 und 3 und Schredderbetreiber 2 ist analog in Tabelle 171 dargestellt.

Tabelle 171: Durchschnittlicher Metallanteil der 214 Altfahrzeuge in Demontagebetrieb 2+ 3 und Schredderbetrieb 2

Gewogener Fahrzeuginput Gesamt ohne Kraftstoff [kg]	Separierter Metallanteil DB 2+3 [kg]	Metallgehalt Restkarossen Schredder 2 [kg]	Metallanteil am Fahrzeug-Input Gesamt [kg]	Metallanteil am Fahrzeug-Input Gesamt [%]
221.818	13.100	147.666	160.766	72 %

Im Rahmen der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne hat der Schredderbetreiber 2 den Metallgehalt der metallhaltigen Fraktionen der behandelten Restkarossen geschätzt und kommt dort zu sehr ähnlichen Ergebnissen (Fe-Fraktion: 85,6 %; SSF: 6,8 %; SLF: 1,2 %; der Rest von 6,4 % wurde vorher demontiert, siehe Kapitel 2).

Wie bereits zu Beginn des Kapitels betont, muss berücksichtigt werden, dass die Grundlage der dargestellten Schätzungen die unaufbereiteten Outputfraktionen des Schredders sind und hieraus keine Schlussfolgerungen auf den Verbleib des Metallanteils in der SLF und SSF gezogen werden können.

4.3.6.3 Aktualisierung der Annahme von 97 % als verwerteter Anteil des Metallgehalts

Im Rahmen der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne wurden die Schredderoutputfraktionen vor der PST analysiert. Aussagen dazu, wie viele Metalle sich nach der PST in Fraktionen befinden, die in die energetische Verwertung und Beseitigung gehen, sind daher nicht gesichert möglich. Da für die Berechnung zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten jedoch ein Wert für die Metallausbringung benötigt wird, erfolgt im Folgenden eine grobe Schätzung zu den Metallströmen.

Der Metallgehalt der Altfahrzeuge, die von den Demontagebetrieben 2+ 3 und dem Schredderbetreiber 2 verwertet wurden, beträgt 160.766 kg. In den Demontagebetrieben wurden davon 13.100 kg ausgebaut (siehe Kapitel 2.9.4) und nach Angaben der Demontagebetriebe zu 100 % stofflich verwertet. Die Restkarossen enthielten einen Metallanteil von 147.666 kg (siehe Kapitel 2.9.4), von denen sich ca. 135.000 kg in der Fe-Fraktion, 10.700 kg in der SSF und 2.000 kg in der SLF befinden. Der Metallanteil in der Fe-Fraktion geht nach Angaben von Schredderbetreiber 2 in Schmelzwerke im In- und Ausland oder in die mechanische Aufbereitung/Metallrückgewinnung und wird ebenfalls 100 % verwertet. Gleiches gilt für den Metallanteil der SSF bis auf einen geringen Anteil von ca. 120 kg Eisenstaub, der deponiert wird. Die gesamte SLF wird zu 25,9 % stofflich verwertet, zu 58,2 % energetisch

verwertet und zu 15,9 % beseitigt. Ein Großteil des Fe-Metalls in der SLF wird durch einen Überbandmagneten separiert und als „Sorte 4 aus Überbandmagnet“ stofflich verwertet (504 kg). Weitere NE-Metalle werden durch einen NE-Abscheider separiert und ebenfalls stofflich verwertet (256 kg). Dies bedeutet, dass ein Anteil von ca. 1.194 kg Metall in der Fraktion „SLF grob“ verbleibt. Diese wird zu 4,2 % stofflich verwertet, 85,8 % energetisch verwertet und zu 9,9 % beseitigt. Dies bedeutet, dass ein Anteil zwischen 120 kg-1.314 kg Metall einem Beseitigungsverfahren zugeführt werden könnte, was einem Maximalanteil von ca. 0,79 % des gesamten Metallgehalts in den verwerteten Altfahrzeugen bedeutet.

Die Höhe des verwerteten Metallgehalts von Altfahrzeugen beträgt damit mindestens 99 % und übersteigt damit die bisherige Annahme von 97 %. Für den Metallgehalt der Altfahrzeuge, die beim Demontagebetrieb 1 und bei Schredderbetreiber 1 verwertet wurden, ist aufgrund der Angaben zu den Verbleibswegen der Outputfraktionen ähnliches anzunehmen.

Empfehlung:

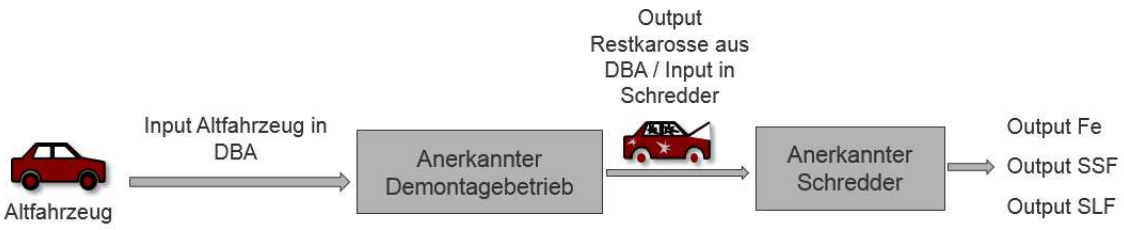
Es wird gutachterlicherseits empfohlen, ab der nächsten Berichterstattung mit einer Metallverwertung von 99 % statt 97 % zu rechnen.

4.3.7 Restkarossenbilanz: Masse und Anzahl der Altfahrzeuge und Restkarossen

4.3.7.1 Status quo

Die Altfahrzeugverordnung sieht eine zweistufige Verwertung von Altfahrzeugen vor: Die ersten Behandlungsschritte erfolgen in den Demontagebetrieben, welche die entfrachtete Restkarosse anschließend an eine Schredderanlage (oder eine sonstige anerkannte Anlage) übergeben müssen (siehe Abbildung 94).

Abbildung 94: Skizze des zweistufigen Verwertungsverfahrens von Altfahrzeugen



Quelle: eigene Darstellung

Vom Grundsatz sollte daher die Anzahl der angefallenen und von den Demontagebetrieben angenommenen Altfahrzeuge eines Jahres mit der Anzahl der Restkarossen, die die Demontagebetriebe wieder verlassen, übereinstimmen. Diese Restkarossen wiederum sollten in Anzahl und Masse mit den Restkarossen, die von den Schredderanlagen angenommen werden, übereinstimmen – nach einer Korrektur um den Import-/Exportsaldo. Die Bilanz der ausgeführten Restkarossen aus dem Demontagebetrieben und der importierten Restkarossen im Schredderinput für die Jahre 2008 bis 2014 zeigt, dass lediglich eine Differenz von ca. 33.000 t besteht (siehe Tabelle 172).

Tabelle 172: Vergleich der Anzahl der ausgeführten Restkarossen aus dem Demontageanlagen-Output und der importierten Restkarossen im Schredderinput [in t] in den Jahren 2007 bis 2014

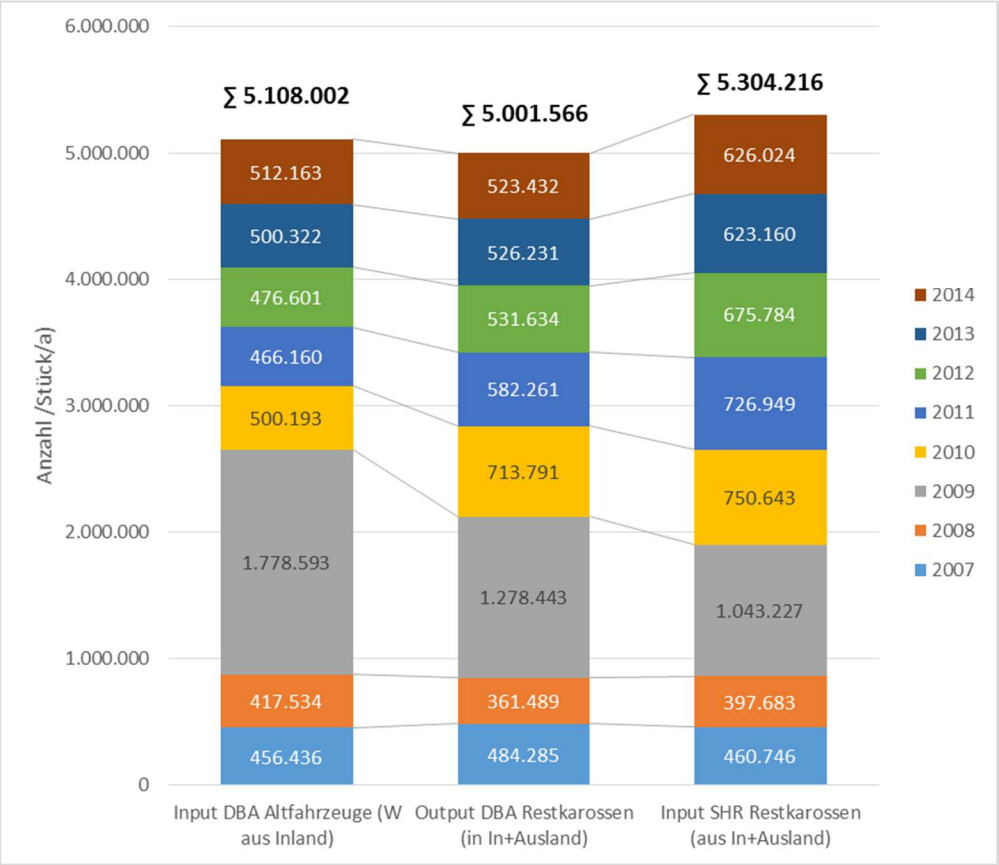
Jahr	Ausgeführte Restkarossen aus Demontageanlagen-Output [t]	Importierte Restkarossen im Schredderinput [t]	Differenz DB Output – SHR Input [t]
2007	n. a.	17.300	n. a.
2008	12.891	13.700	-809
2009	59.027	16.600	42.427
2010	27.389	25.600	1.789
2011	20.164	29.800	-9.636
2012	23.050	33.100	-10.050
2013	27.420	25.200	2.220
2014	28.662	21.500	7.162
Gesamt	**198.603**	**165.500**	**33.103**

Quellen: DESTATIS (2009) bis DESTATIS (2016); BMUB & UBA (2010) bis BMUB & UBA (2016)

Eine Auswertung der Daten der Abfallstatistiken der letzten Jahre (siehe DESTATIS 2009 bis DESTATIS 2016) zeigt jedoch, dass die erwähnten Mengen in der Regel nicht übereinstimmen.

In den Berichten zur Abfallentsorgung von DESTATIS (siehe DESTATIS 2009 bis DESTATIS 2016) liegt die Anzahl Restkarossen im Output der Demontagebetriebe fast immer niedriger als die Anzahl der Restkarossen im Input der Schredder (siehe Abbildung 95). Für das Jahr 2009 sind die Auswirkungen der Abwrackprämie zu berücksichtigen, die für ein überdurchschnittliches Aufkommen an Altfahrzeugen geführt haben. Durch Lagerbildung kommt es hierzu auch in den folgenden Jahren zu Verzerrungen, da die Lager erst mit Verzögerung abgebaut wurden. So kann es auch sein, dass die Schredder die Restkarossen erst verbucht haben, als sie durchgesetzt waren, was möglicherweise erst im folgenden Jahr war und somit hier zu höheren Mengen geführt hat.

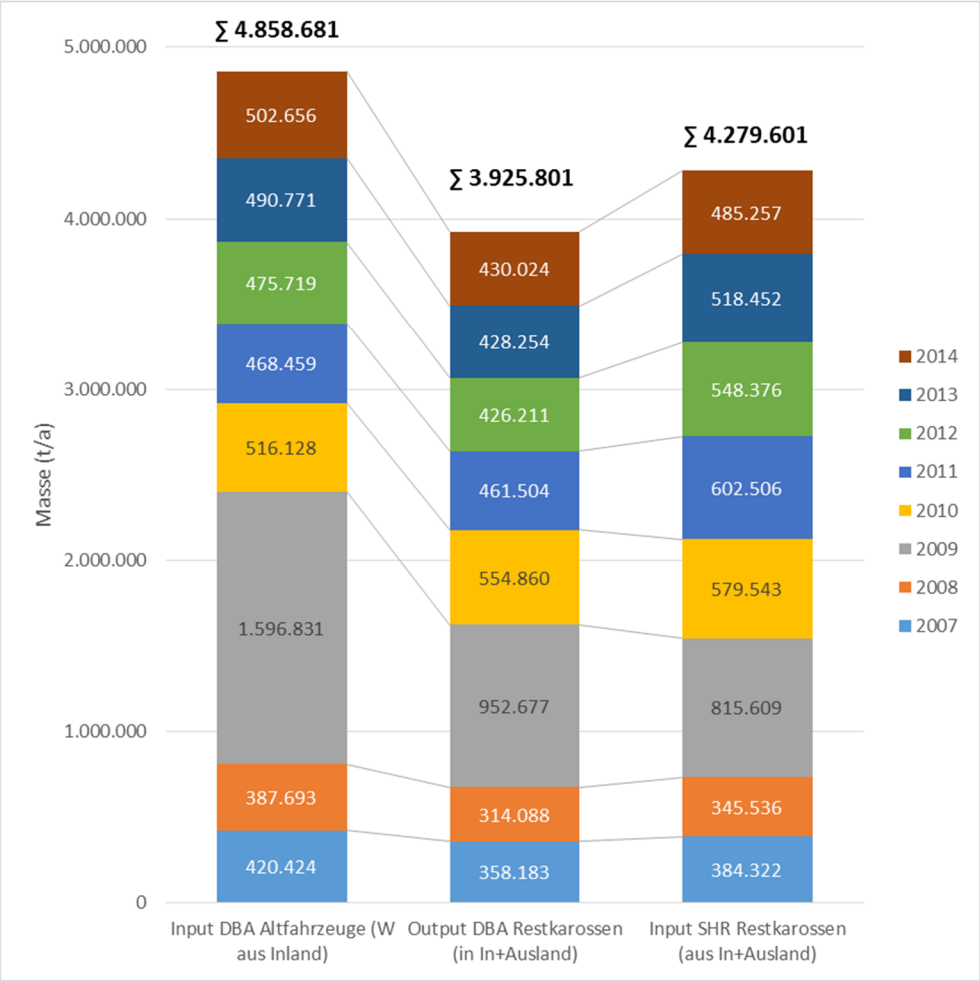
Abbildung 95: Vergleich der Anzahlen zwischen dem Altfahrzeuginput bei Demontagebetrieben, dem Restkarossenoutput bei Demontagebetrieben und dem Restkarosseninput bei Schredderanlagen in den Jahren 2007 bis 2014



Quelle: DESTATIS 2009 bis DESTATIS 2016; DB= Demontagebetriebe; SHR = Schredderanlagen

Auch die Masse der Restkarossen im Output von Demontagebetrieben liegt fast immer unter der Masse an Restkarossen im Input Schredder (siehe Abbildung 96). Aus der Summe der einzelnen Jahreswerte kann man erkennen, dass auch trotz jahresbilanz- und abwrackprämienverzerrten Einzeljahren in Summe die Mengen übereinstimmen sollten, was jedoch nicht der Fall ist.

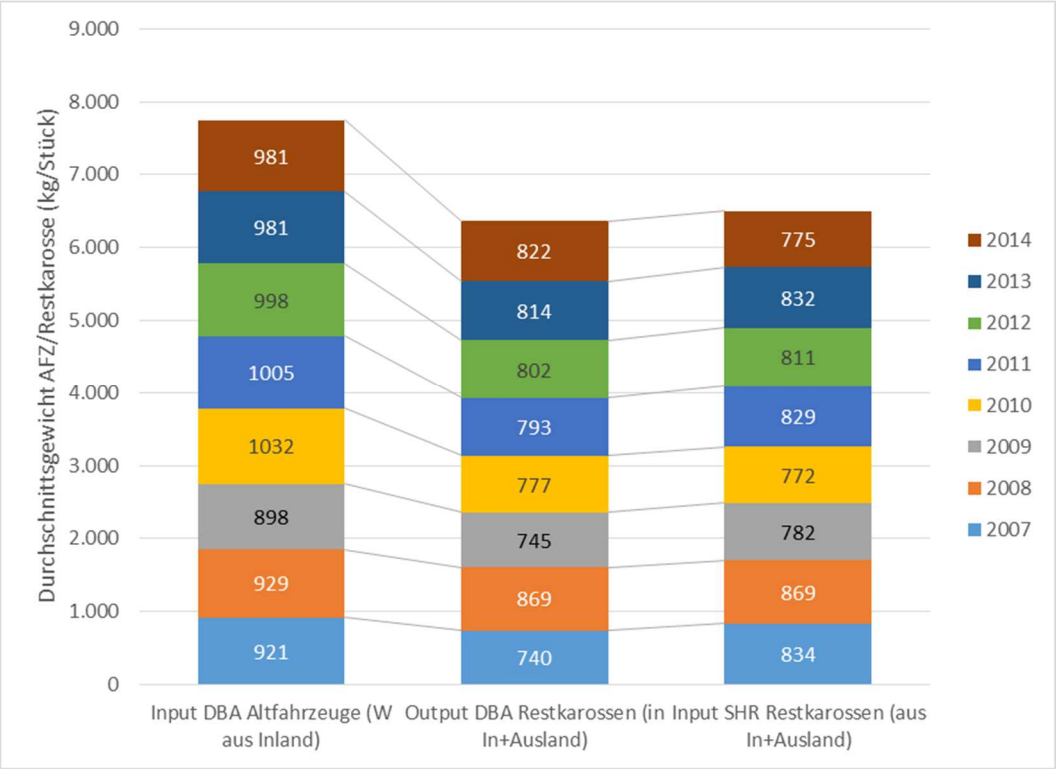
Abbildung 96: Vergleich von Massenströmen zwischen dem Altfahrzeuginput bei Demontagebetrieben, dem Restkarossenoutput bei Demontagebetrieben und dem Restkarosseninput bei Schredderanlagen in den Jahren 2007 bis 2014



Quelle: DESTATIS 2009 bis DESTATIS 2016; DB= Demontagebetriebe; SHR = Schredderanlagen

Das durchschnittliche Gewicht der Restkarossen liegt im Output der Demontagebetriebe niedriger als im Input der Restkarossen, was insofern logisch ist, das bei der Demontage eine Entfrachtung stattgefunden hat. Das durchschnittliche Gewicht der Restkarossen liegt im Output der Demontagebetriebe oft niedriger, als im Input der Schredder (siehe Abbildung 97).

Abbildung 97: Vergleich der Durchschnittsgewichte zwischen dem Altfahrzeuginput bei Demontagebetrieben, dem Restkarossenoutput bei Demontagebetrieben und dem Restkarosseninput bei Schredderanlagen in den Jahren 2007 bis 2014



Quelle: DESTATIS 2009 bis DESTATIS 2016; DB= Demontagebetriebe; SRH = Schredderanlagen

Als Ursache kommt unter anderem in Betracht, dass Schredder Restkarossen verarbeiten, die nicht als Output Demontagebetrieb dokumentiert sind. Diese Vermutung wird durch die Größenordnung der Differenz erhärtet (siehe folgende Tabelle 173). Wahrscheinlich haben auch die Erhebungsroutinen bei den Demontagebetrieben und Schredderbetrieben (z. B. keine Verwiegung am Ausgang der Demontagebetriebe) einen Einfluss auf die dargestellt Differenz. Der Einfluss der aus- und eingeführten Restkarossenmengen wird als gering eingestuft (siehe Tabelle 172 u. DESTATIS Fachserie 19 Reihe 1).

Tabelle 173: Massendifferenz (t) zwischen Restkarossen-Output der Demontagebetriebe und dem Restkarossen-Input der Schredderanlagen in den Jahren 2007 bis 2014

Jahr	Delta
2007	26.139
2008	31.448
2009	-137.068
2010	24.683
2011	141.002
2012	122.165
2013	90.198
2014	55.233
Saldo der Jahre	353.800

Quelle: DESTATIS 2009 bis DESTATIS 2016

Als weiterer Grund kämen die Nachwirkungen der Umweltprämie in Frage, dementsprechend die Altfahrzeuge aus dem Jahr 2009 zwar als Eingang im Jahr 2009 verbucht sind, diese Fahrzeuge jedoch nicht in der Outputbilanz der Demontagebetriebe desselben Jahres dargestellt sind. Dies kann jedoch nur ein kurzfristiger Grund für die Verzerrungen sein, die sich mittelfristig wieder ausgleichen müssten, was jedoch nicht der Fall ist.

Auch könnte ein Grund sein, dass deutlich mehr importierte Restkarossen im Schredderinput sind als Restkarossen aus dem Demontagebetrieb-Output ausgeführt wurden. Die Bilanz in Tabelle 172 zeigt, dass im Gegenteil der Export etwas höher lag und dies daher keine Erklärung für die Differenzen sein kann.

Eine ausgeglichene Bilanz ist nicht zuletzt deshalb wichtig, um den Verbleib außer Betrieb gesetzter (Alt)Fahrzeuge und deren ordnungs- und umweltgerechte Verwertung nachvollziehen zu können (ausführlicher zur Problematik des Verbleibs von Altfahrzeugen siehe Sander et al. 2017c).

4.3.7.2 Empfehlungen

Eine Verringerung der Differenzen in der Bilanz auf der Stückebene (Altfahrzeuge, Restkarossen) könnte erreicht werden, wenn für alle Restkarossen ein Verwertungsnachweis für die Altfahrzeugentsorgung vorliegen würde. Voraussetzung hierfür wäre ein funktionierendes System der Verwertungsnachweise inklusive der Weiterreichung der blauen Durchschläge aller entsprechenden Verwertungsnachweise mit den Restkarossen an die Schredder. Eine ausführliche Analyse und Diskussion der Praxis der Handhabung der Verwertungsnachweise erfolgte in dem Umweltforschungsplan-Vorhaben zum „Verbleib von Altfahrzeugen“ (Sander et al. 2017c). Dort wurde vorgeschlagen, dass die Prüfung des vollständigen Vorhandenseins der Verwertungsnachweise beim Schredder als Teil der Anerkennung erfolgen sollte. Dies ist bereits bestehende Rechtslage, aber in der Praxis aufgrund der hohen Anzahl von Altfahrzeugen pro Schredderanlage schwer umsetzbar.

Eine Verbesserung der Datenlage beim Schredder über die Anzahl der angenommenen Restkarossen könnte sich dadurch erreichen lassen, dass die Übertragung der Verwertungsnachweise zwischen Demontagebetrieb und Schredder auf elektronischem Wege erfolgt. Hierzu wäre eine entsprechende EDV-Ausstattung bei den Betrieben und eine Anpassung der Rechtslage erforderlich.

4.3.8 Verwertungsanteile ausgeführter Restkarossen

4.3.8.1 Status quo - Bisher genutzte Annahme zu den Verwertungsquoten der im Ausland entsorgten Restkarossen

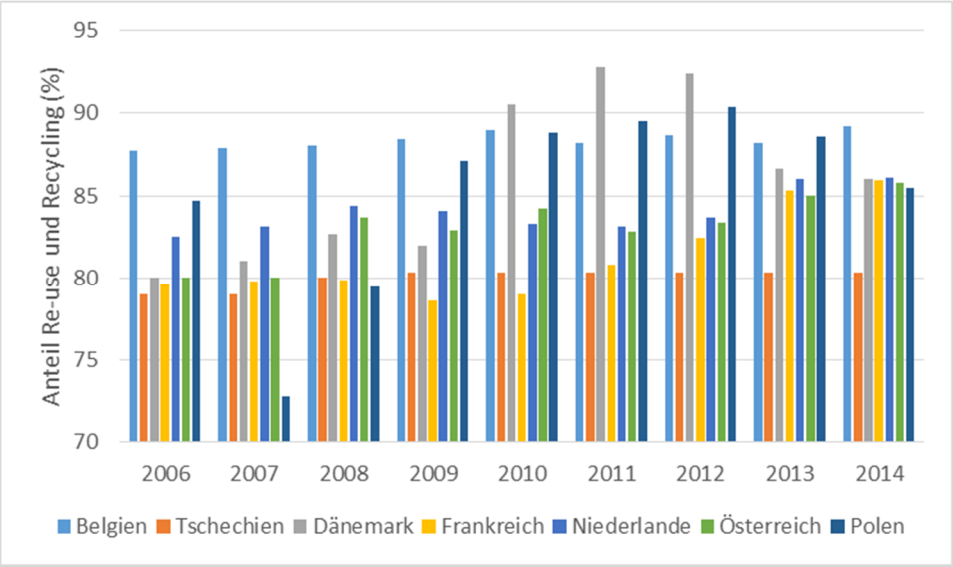
Im Jahr 2013 wurden nach KOM-Tabelle 3 27.420 t Restkarossen zur Verwertung exportiert. Dies entspricht 5,6 % des Altfahrzeug-Gesamtgewichts in Deutschland (vgl. BMUB & UBA 2015, S. 28). Werden Restkarossen aus der Altfahrzeug-Entsorgung aus einem Mitgliedstaat zur weiteren Entsorgung ausgeführt, so werden die Verwertungsanteile dem ausführenden Mitgliedstaat zugeordnet. Hierzu wäre es notwendig, dass Informationen zu den jeweils erreichten Verwertungsquoten der Zielländer vorliegen. Jedoch liegen derzeit keine Informationen über die Zielländer der exportierten Restkarossen, obgleich in der KOM-Tabelle 3 eingefordert, und die dortigen Verwertungsanteile vor. Mengenmäßig spielt der Export von Restkarossen und Altfahrzeugteilen aus Deutschland nur eine untergeordnete Rolle: Die Verwertung der Nichtmetalle der exportierten Restkarossen trägt lediglich 1,0 % zur Gesamt-Verwertungsquote bei.

Bei der Quotenberechnung wird bisher so vorgegangen (siehe BMUB & UBA 2016, Abschnitt 2.1.4): Der Abfallstatistik ist die Menge der ins Ausland zur Verwertung verbrachten Restkarossen zu entnehmen. Für die Metallverwertung wird wie im Inland mit der Schätzung des Metallgehalts von 73,2 % gerechnet, für das Gesamtrecycling und die Gesamtverwertung mit 80 % bzw. 85 %, als Mindestwert entsprechend den Zielvorgaben der Altfahrzeug-Richtlinie.

4.3.8.2 Aktualisierung der Annahme zur Verwertung der Restkarossen im Ausland

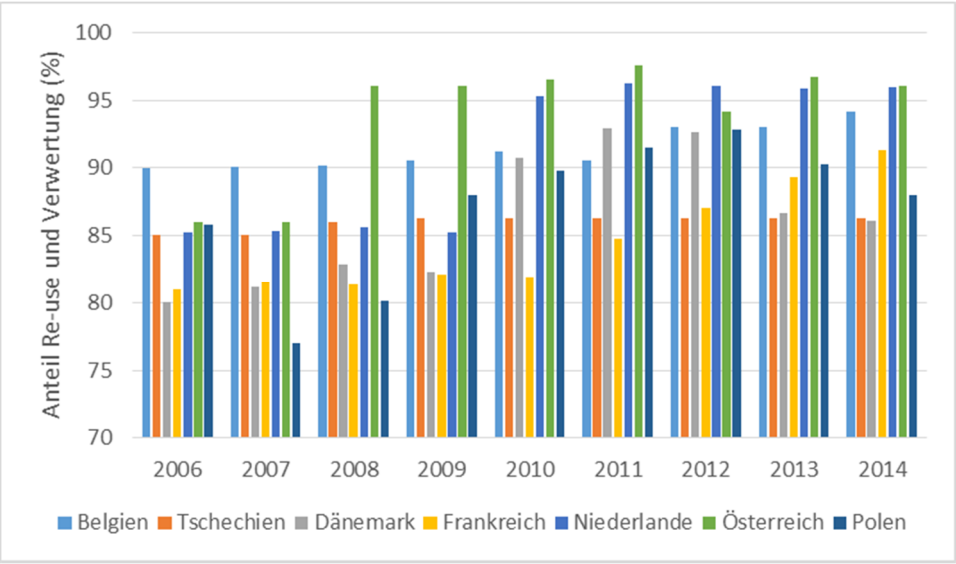
Für die Verwertungsquoten bezogen auf Restkarossen veröffentlicht EUROSTAT keine statistischen Daten. Die auf Altfahrzeuge bezogenen Re-use-, Recycling- und Verwertungsraten der Mitgliedstaaten unterscheiden sich deutlich. Abbildung 98 und Abbildung 99 zeigen die Quoten für den Zeitraum von 2006 bis 2020 unter der Annahme der Relevanz von Transportkosten für die Exportwahrscheinlichkeit von Restkarossen für Nachbarländer Deutschlands.

Abbildung 98: Altfahrzeuge: Wiederverwendungs-und Recyclingraten verschiedener Mitgliedstaaten



Datengrundlage: EUROSTAT (2016) End-of-life vehicles: Reuse, recycling and recovery, Totals [env_waselvt], Operator: WST_OPER Total recycling and reuse, Last update: 09.09.16, Extracted on 11.09.16

Abbildung 99: Altfahrzeuge: Wiederverwendungs-und Verwertungsraten verschiedener Mitgliedstaaten



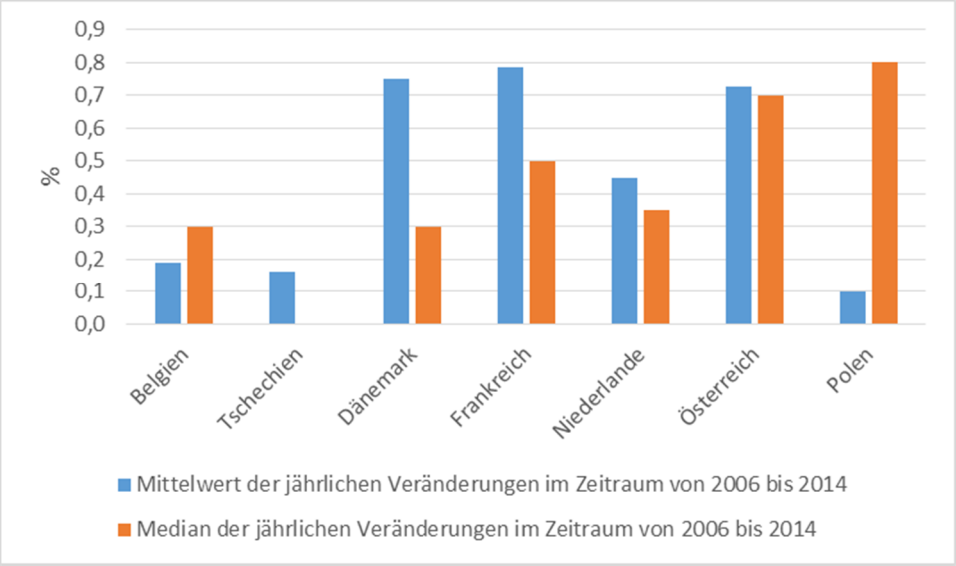
Datengrundlage: EUROSTAT (2016) End-of-life vehicles: Reuse, recycling and recovery, Totals [env_waselvt], Operator: WST_OPER Total recovery and reuse, Last update: 09.09.16, Extracted on 11.09.16

Die Wiederverwendungsquoten werden von EUROSTAT nicht explizit ausgewiesen, daher wurden sie aus der Differenz zwischen den Mengenangaben für „Gesamt Recycling und ReUse“ und „Recycling“

berechnet. Dabei ergaben sich für die hier dargestellten Länder für das Jahr 2015 eine mittlere ReUse-Quote von 11 %. Die Untersuchungen der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ergaben, dass die Masse der Restkarossen um durchschnittlich 10 % geringer war, als die der Altfahrzeuge. Es kann in Ermanglung spezifischerer Daten daher davon ausgegangen werden, dass die von EUROSTAT veröffentlichten Recycling- und Verwertungsquoten für die Mitgliedstaaten eine akzeptable Annäherung an die Recycling- und Verwertungsquoten für Restkarossen darstellen. Sollte dem UBA bzw. BMUB spezifische Daten zu den Restkarossen zugänglich sein, stellen diese jedoch sicherlich eine bessere Datengrundlage für die Einschätzung der Recycling- und Verwertungsleistung der Mitgliedstaaten dar.

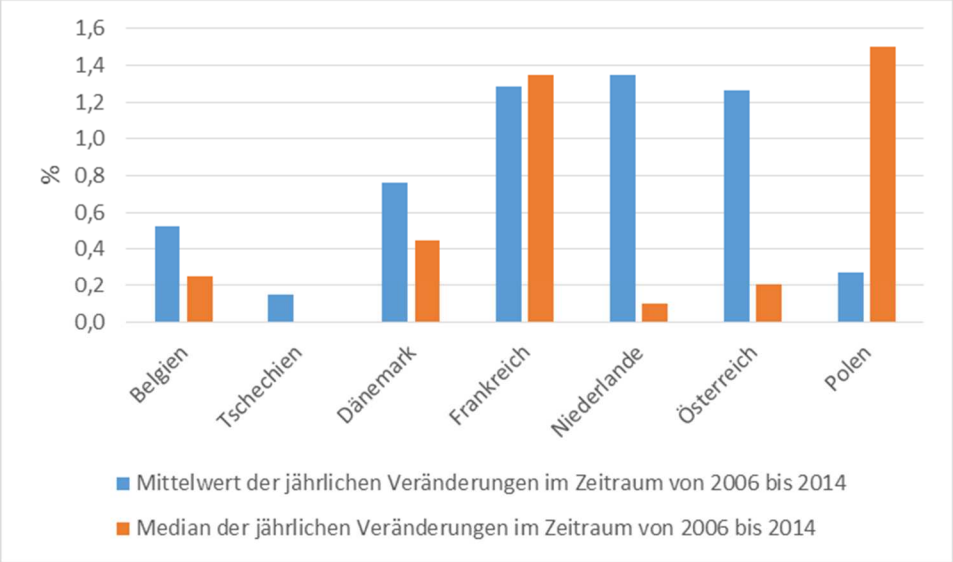
Zwischen jeweils zwei Jahren im Betrachtungszeitraum veränderten sich die Quoten in den untersuchten Mitgliedstaaten nur gering (siehe Abbildung 100 und Abbildung 101), um < 1 % bei Recycling und Wiederverwendungsraten und um < 1,5 % bei Wiederverwendung und anderer Verwertung.

Abbildung 100: Mittelwert der jährlichen Veränderungen im Zeitraum von 2006 bis 2014 bei den Recycling- und Wiederverwendungsraten für Altfahrzeuge verschiedener Mitgliedstaaten



Datengrundlage: EUROSTAT (2016) End-of-life vehicles: Reuse, recycling and recovery, Totals [env_waselvt], Operator: WST_OPER Total recycling and reuse, Last update: 09.09.16, Extracted on 11.09.16

Abbildung 101: Mittelwert der jährlichen Veränderungen im Zeitraum von 2006 bis 2014 bei den Verwertungs- und Wiederverwendungsraten für Altfahrzeuge verschiedener Mitgliedstaaten



Datengrundlage: EUROSTAT (2016) End-of-life vehicles: Reuse, recycling and recovery, Totals [env_waselvt], Operator: WST_OPER Total recovery and reuse, Last update: 09.09.16, Extracted on 11.09.16

4.3.8.3 Empfehlungen

Um den Grad und die Qualität der Verwertung von exportierten Restkarossen berücksichtigen zu können wird empfohlen, dass Demontagebetriebe zusätzlich zu der Anzahl der exportierten Restkarossen angeben müssen, in welche Länder diese exportiert wurden. Dazu sollten die Erhebungsbögen zur Abfallstatistik für die Demontagebetriebe entsprechend geändert werden.

Die ausgeführte Menge an Restkarossen ist vergleichsweise gering (im Jahr 2014 5,7 % des Fahrzeuggesamtgewichts W1 BMUB & UBA 2016). Um eine Balance zwischen Aufwand und Relevanz für das Monitoring zu erreichen und da vermutlich die Gesamtrecycling- und Verwertungsraten auch in den anderen Mitgliedstaaten vor allem durch die Verwertung des Schredders beeinflusst werden, wird empfohlen , die Gesamtverwertungs- und -recyclingquoten der Zielländer des Vorjahres nach EUROSTAT (siehe oben) (ggf. nach Herausrechnen der Wiederverwendungsquoten) als Grundlage heranzuziehen.

4.4 Änderung der Monitoring-Methodik

Durch die zunehmend komplexere Aufbereitung der Outputfraktionen aus dem Schredder und die daraus resultierende zunehmende Anzahl von entstehenden Fraktionen bei gleichzeitig eng begrenzter Zahl von Abfallschlüsseln wird die Bestimmung der Verwertungsquoten aus den Angaben der Abfallstatistik der Schredderanlagen von DESTATIS zu den Mengen nach ASN zunehmend schwierig. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass bis zu über 100 Fraktionen aus den Aufbereitungsprozessen entstehen. Die spezifischeren Fraktionen sind in der Regel auch spezifischeren Entsorgungswegen zugeordnet. Hierdurch kann sich durch Veränderungen der Marktsituationen oder der Verfügbarkeit von Entsorgungswegen auch eine erhöhte Dynamik bei den zugeordneten Entsorgungswegen ergeben. denen, die aus dem Schreddern von Altfahrzeugen entstehen.

PST der Schredder unterscheiden sich stark. Die Schredderbetriebe für die Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne waren unter anderem danach ausgesucht, hier eine große Spannbreite der

Differenzierungsgrade der Stoffströme abbilden zu können. Es wurde deutlich, dass eine pauschale Bestimmung der Verhältnisse von Outputströmen für alle Schredder in Deutschland aufgrund der Unterschiedlichkeit der PST nicht möglich ist.

Es reicht also nicht aus, nur die Anzahl der Schredderrückstandsfraktionen (aktuell Fe-Fraktion, SLF und SSF), deren Verbleib im Schredder-Erhebungsbogen der Abfallstatistik erfragt wird, um weitere ASN zu erweitern. Statt dessen empfehlen wir mittelfristig eine methodische Änderung.

Gutachterlicherseits wird vorgeschlagen, einen neuen Ansatz für das Monitoring zu entwickeln, in dem die Wirtschaftsbeteiligten in Eigenregie die Verwertungsquoten für die Schredderanlagen bestimmen und die Quoten einer Stelle melden, die das Monitoring durchführt (z. B. UBA). Hierzu sollten Vorgaben für eine harmonisierte Vorgehensweise (z. B. für Schredderversuche) erstellt werden.

Begleitet werden sollte ein solches Vorgehen von regelmäßigen Prüfungen der Quotenberichte durch einen unabhängigen Prüfer (z. B. Sachverständige).

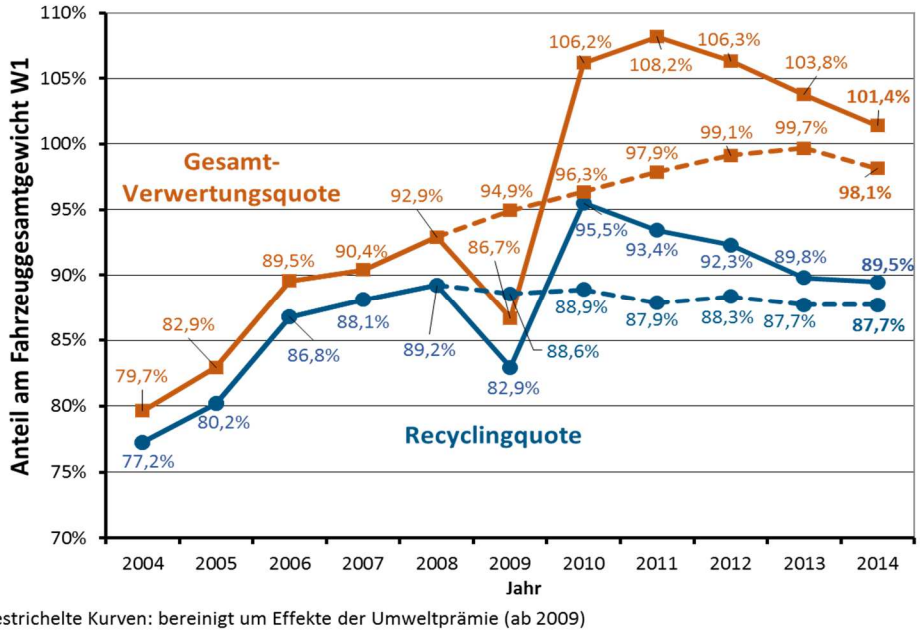
Ggf. kann die Bestimmung der Quoten mit der Bestimmung der betrieblichen Verwertungsquoten verbunden werden und so zum einen der Aufwand für die Betriebe minimiert werden und zum anderen eine Qualitätssicherung über die Sachverständigen im Rahmen der Anerkennung der Betriebe erreicht werden.

Die vollständige Erhebung und Dokumentation der Fahrzeugidentifikationsnummern der Altfahrzeuge und der Verbleibswege der jeweiligen Restkarossen würde die Überprüfbarkeit und Transparenz der Erhebung Quotenbestimmung fördern.

5 Hochwertigkeit der Altfahrzeugverwertung

Deutschland erreicht seit 2006 die massenbezogenen Recycling- und Verwertungsquoten der deutschen Altfahrzeug-Verordnung[36]. Seit 2010 erfüllt Deutschland sogar die seit 2015 zu erreichenden höheren Quoten von mindestens 95 % Verwertung und Wiederverwendung, davon mindestens 85 % stoffliche Verwertung und Wiederverwendung, auch nach Bereinigung um die quotensteigernden Nachwirkungen der Umweltprämie (siehe Abbildung 102).

Abbildung 102: Altfahrzeug-Verwertungsquoten Deutschland 2004 bis 2014 (mit Bereinigung)



gestrichelte Kurven: bereinigt um Effekte der Umweltprämie (ab 2009)

Quelle: BMUB & UBA (2016)

Es wird jedoch angenommen, dass insbesondere für die in der Schredderleichtfraktion (SLF) enthaltenen Fraktionen, wie etwa Kunststoffe, Elastomere, Glas und Metall (vgl. Duwe & Goldmann 2012) eine Verwertung stattfindet, bei der die Potenziale einer hochwertigen Sekundärnutzung nicht ausgeschöpft sind (vgl. Faulstich et al. 2015). Derzeit erfolgt die Entsorgung von Schredderrückständen oftmals in Verwertungspfade wie energetische Verwertung oder Bergversatz beziehungsweise Deponiebau, in denen kein werkstoffliches Recycling bzw. keine Nutzung spezifischer werkstofflicher Eigenschaften der enthaltenen Materialien erfolgt.

Vor diesem Hintergrund ist Gegenstand dieses Abschnitts, die Potenziale einer hochwertigeren Altfahrzeugverwertung zu identifizieren und Empfehlungen für Maßnahmen für deren Erschließung zu formulieren. Zu diesem Zweck erfolgt

- eine Beschreibung der Verbleibswege der Outputfraktionen aus der Demontage und aus dem Schredder,
- die Bewertung der Hochwertigkeit der Verwertungspraxis der in den Schredderoutputfraktionen enthaltenen Wertstoffe,

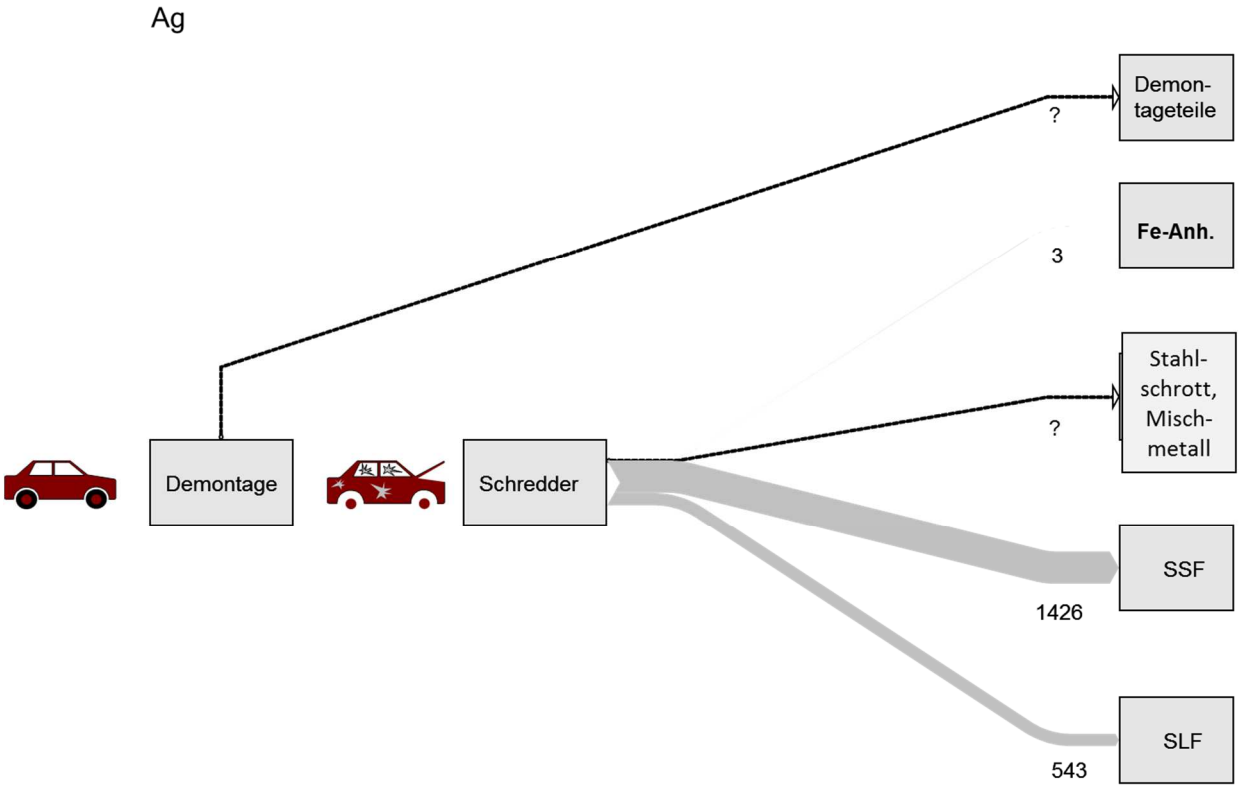
[36] Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen (Altfahrzeug-Verordnung - AltfahrzeugV) vom 21. Juni 2002 (BGBl. I S. 2214), zuletzt geändert durch Artikel 95 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

- die Identifizierung bislang nicht erschlossener Potenziale einer höherwertigeren Verwertung sowie
- die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen auf der Grundlage der ermittelten Potenziale.

5.1 Metallmassenströme der Altfahrzeugbehandlung

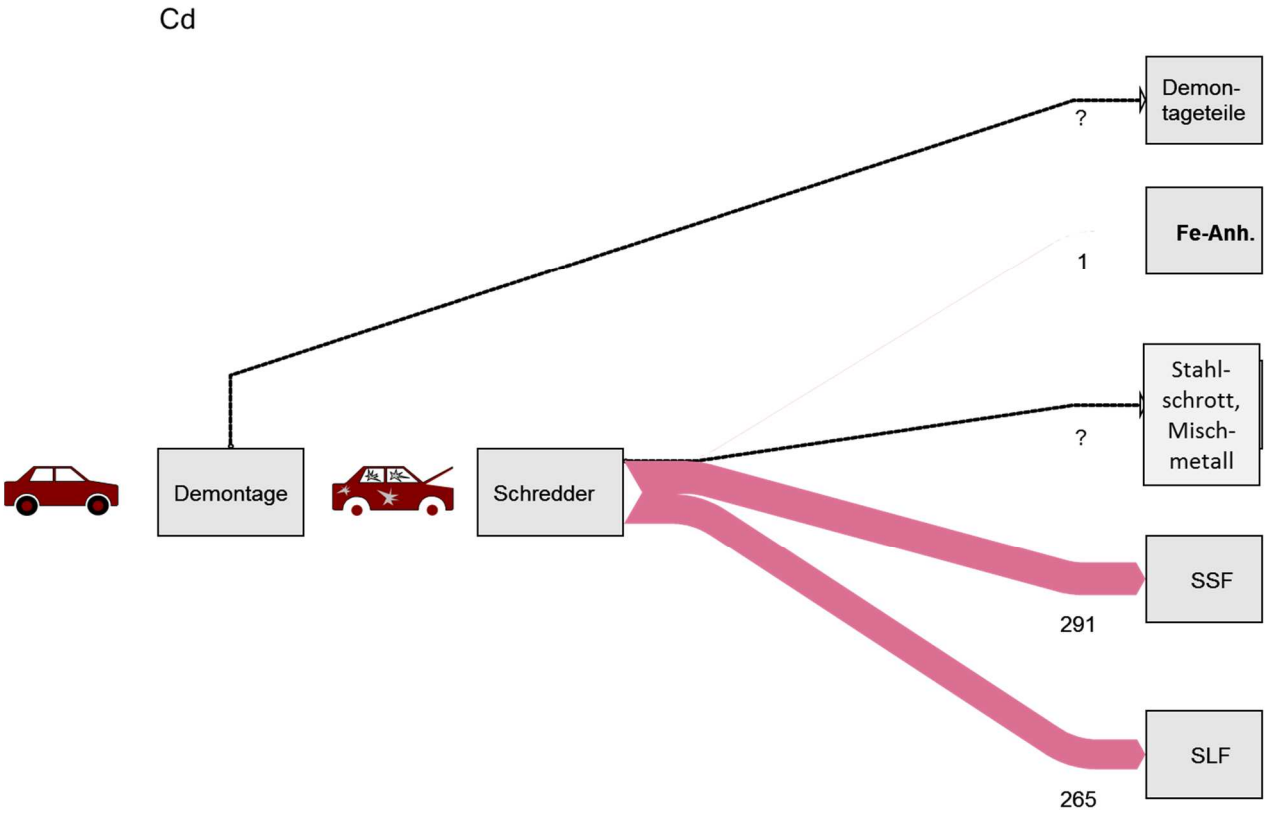
In den folgenden Abbildung 103 bis Abbildung 111 wurden die im Rahmen der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne identifizierten Massenströme ausgewählter Elemente auf die Gesamtanzahl von 503.600 Altfahrzeugen in Deutschland im Jahr 2013 (DESTATIS (2015)) hochgerechnet zusammenfassend dargestellt. Bei der Interpretation der Massenströme sind die Ausführungen zur Repräsentativität der Altfahrzeugverwerwertungs- und Schredderkampagne zu berücksichtigen (siehe Kapitel 2 und Kapitel 3). Frachten der Fraktionen Stahlschrott und Mischmetalle sowie Demontageteile konnten nicht bestimmt werden, da diese Fraktionen aufgrund ihrer Heterogenität nicht analysiert wurden. Die Frachten in den Anhaftungen an der Fe-Fraktion (Fe-Anh.) sind in die Grafiken mit aufgenommen worden.

Abbildung 103: Identifizierte Massenströme von Ag in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a)



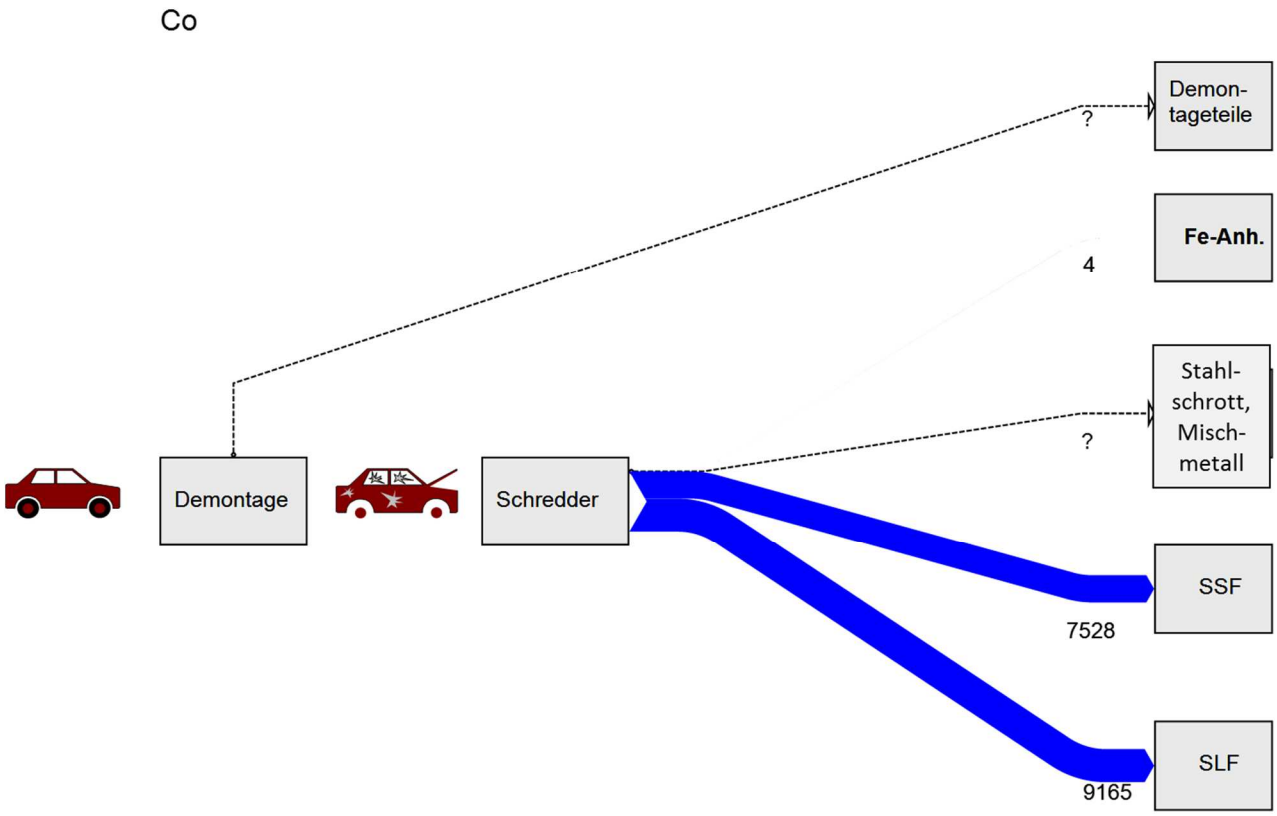
Quelle: eigene Berechnung und Darstellung auf der Grundlage von der Daten aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (Kapitel 2), der Ergebnisse der chemischen Analytik (Kapitel 3) sowie der Anzahl von Altfahrzeugen entsprechend Sander et al. (2017c) und DESTATIS (2015).

Abbildung 104: Identifizierte Massenströme von Cd in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a)



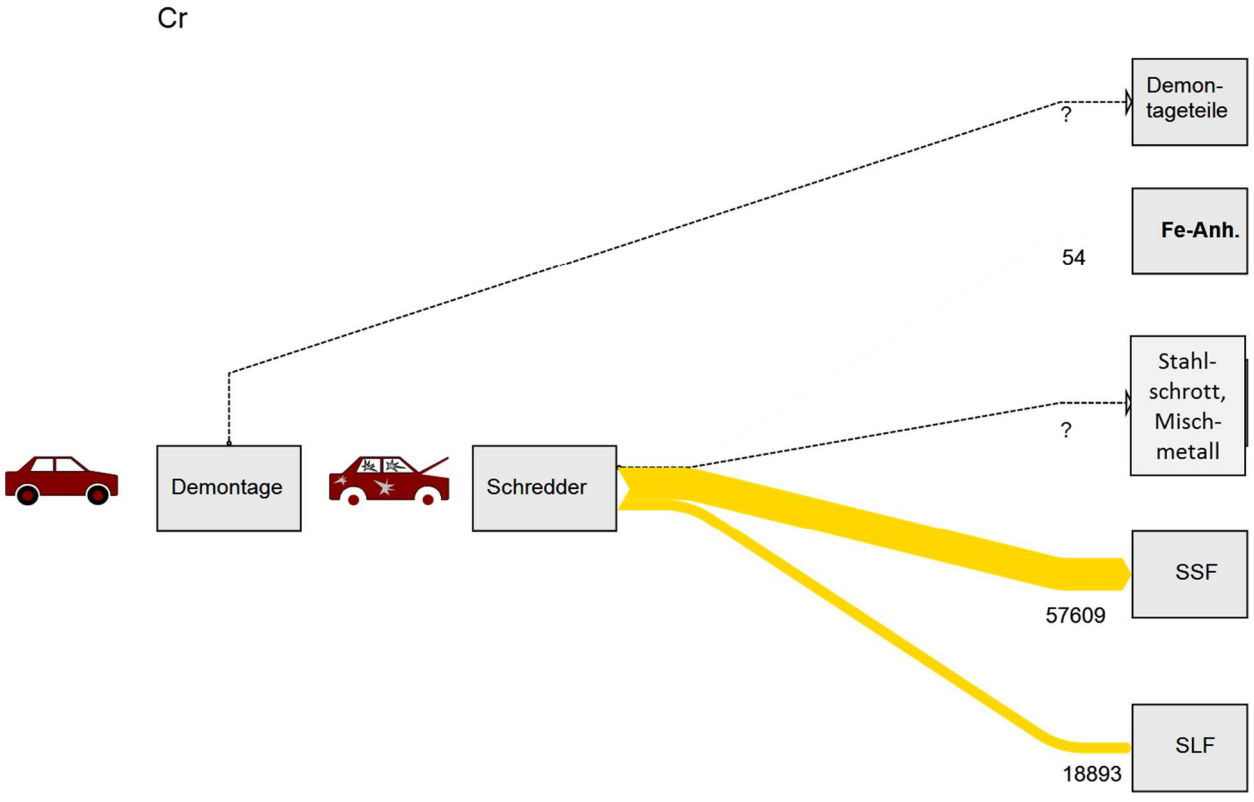
Quelle: eigene Berechnung und Darstellung auf der Grundlage von der Daten aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (Kapitel 2), der Ergebnisse der chemischen Analytik (Kapitel 3) sowie der Anzahl von Altfahrzeugen entsprechend Sander et al. (2017c) und DESTATIS (2015).

Abbildung 105: Identifizierte Massenströme von Co in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a)



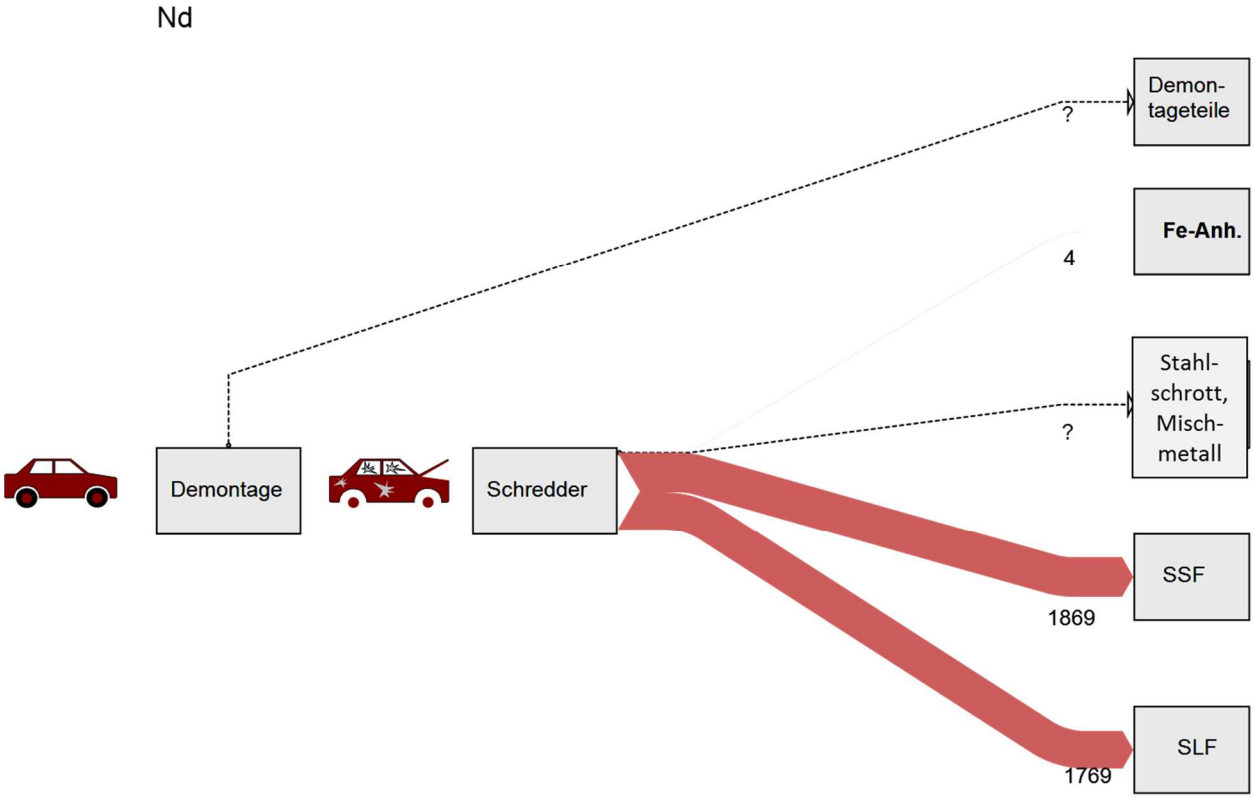
Quelle: eigene Berechnung und Darstellung auf der Grundlage von der Daten aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (Kapitel 2), der Ergebnisse der chemischen Analytik (Kapitel 3) sowie der Anzahl von Altfahrzeugen entsprechend Sander et al. (2017c) und DESTATIS (2015).

Abbildung 106: Identifizierte Massenströme von Cr in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a)



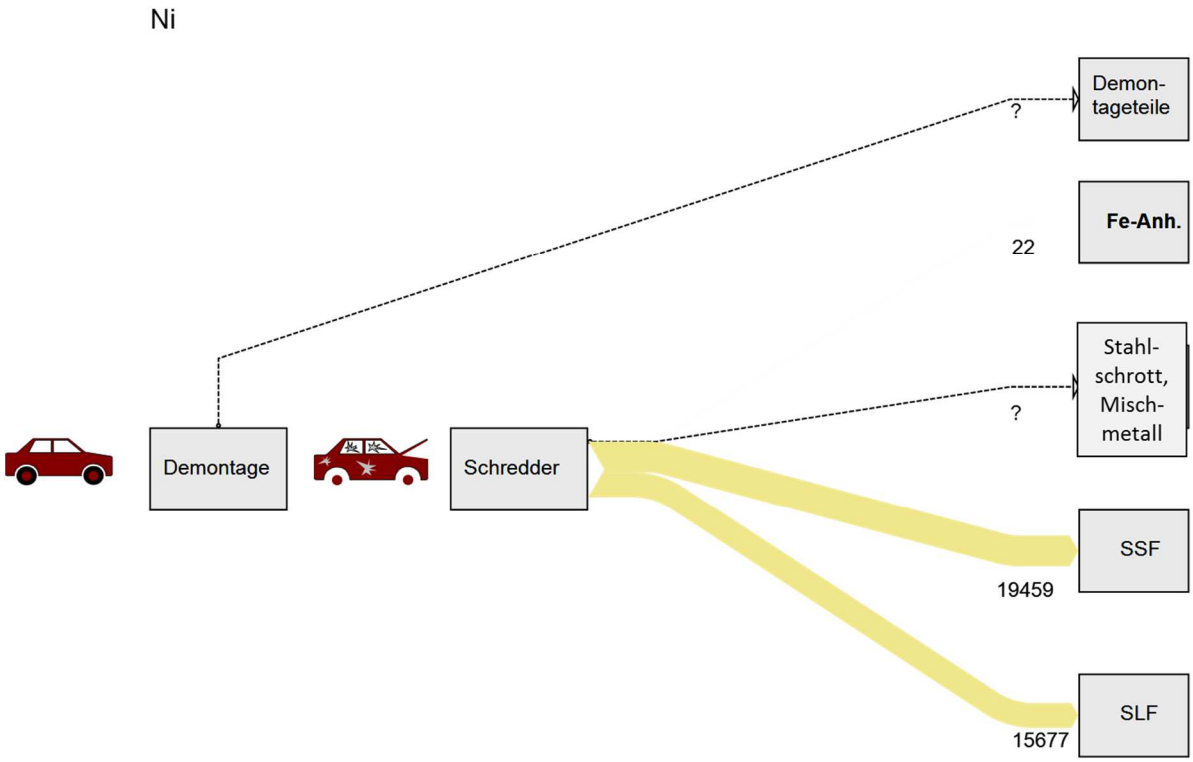
Quelle: eigene Berechnung und Darstellung auf der Grundlage von der Daten aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (Kapitel 2), der Ergebnisse der chemischen Analytik (Kapitel 3) sowie der Anzahl von Altfahrzeugen entsprechend Sander et al. (2017c) und DESTATIS (2015).

Abbildung 107: Identifizierte Massenströme von Nd in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a)



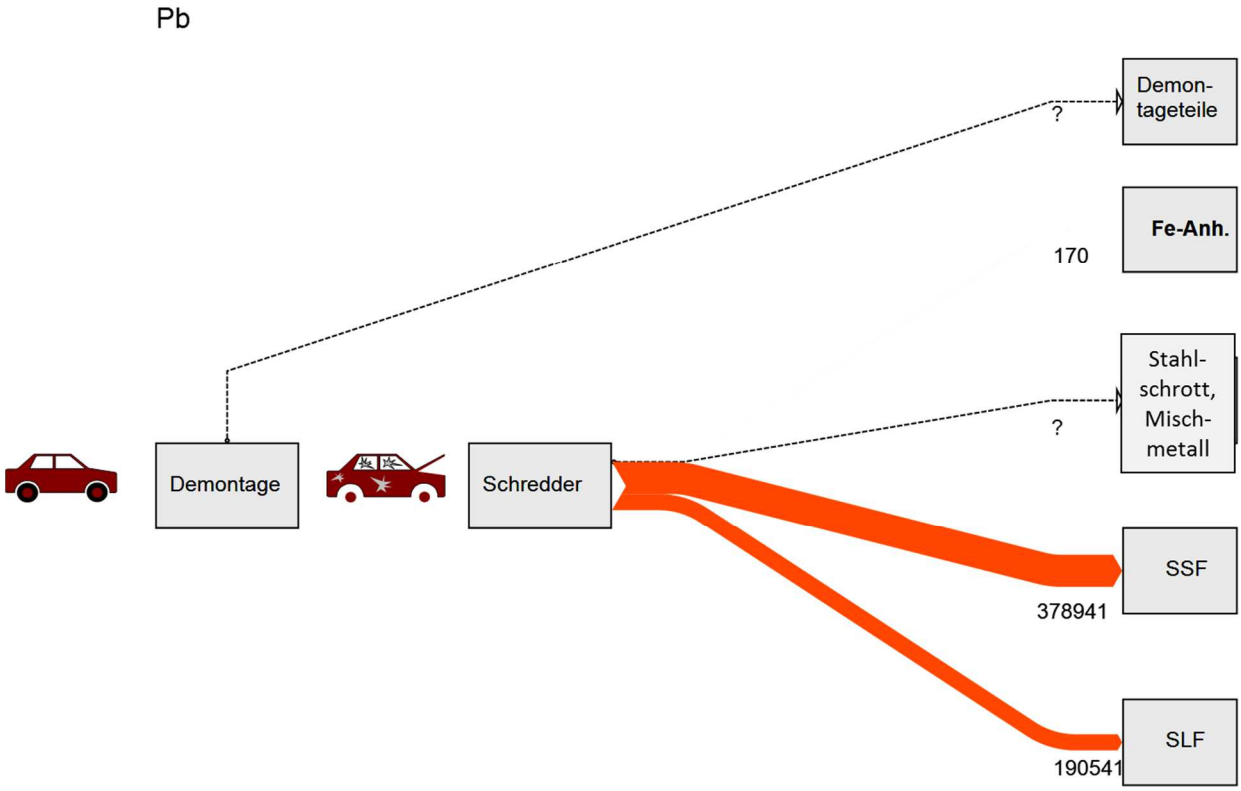
Quelle: eigene Berechnung und Darstellung auf der Grundlage von der Daten aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (Kapitel 2), der Ergebnisse der chemischen Analytik (Kapitel 3) sowie der Anzahl von Altfahrzeugen entsprechend Sander et al. (2017c) und DESTATIS (2015).

Abbildung 108: Identifizierte Massenströme von Ni in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a)



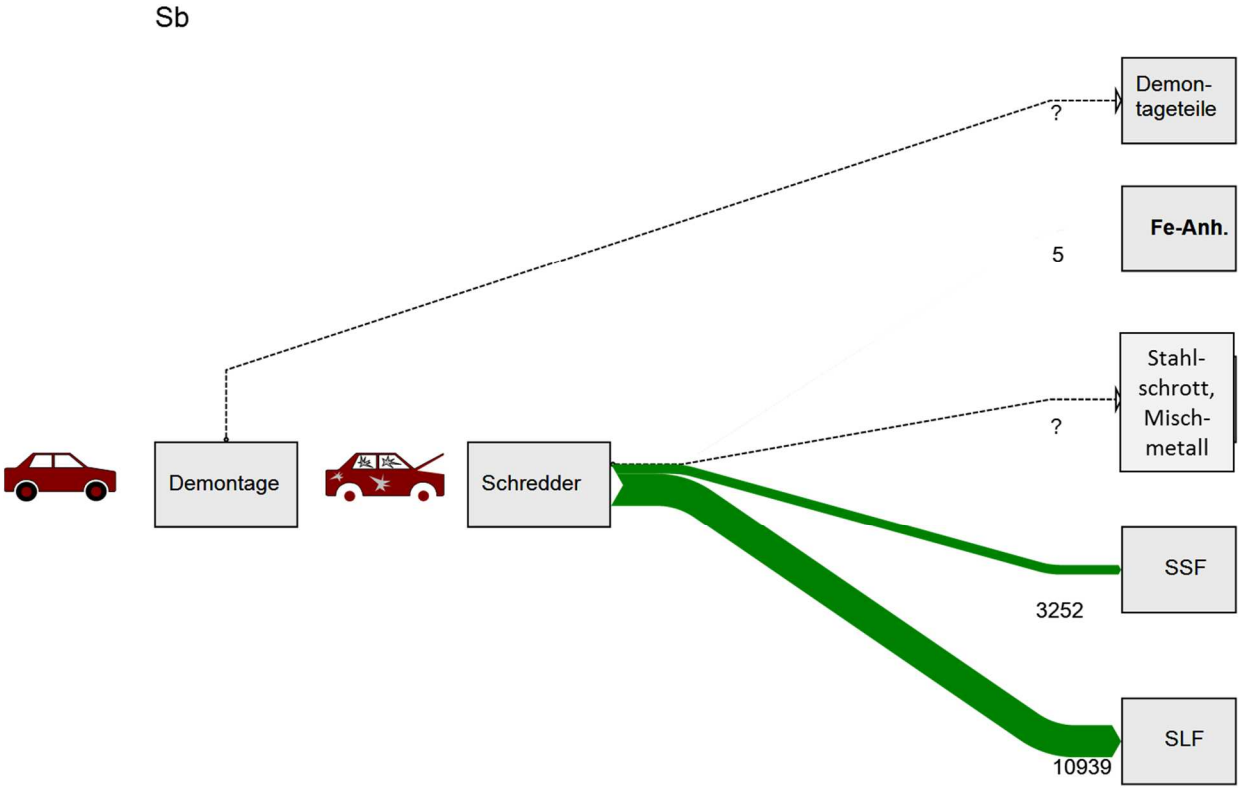
Quelle: eigene Berechnung und Darstellung auf der Grundlage von der Daten aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (Kapitel 2), der Ergebnisse der chemischen Analytik (Kapitel 3) sowie der Anzahl von Altfahrzeugen entsprechend Sander et al. (2017c) und DESTATIS (2015).

Abbildung 109: Identifizierte Massenströme von Pb in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a)



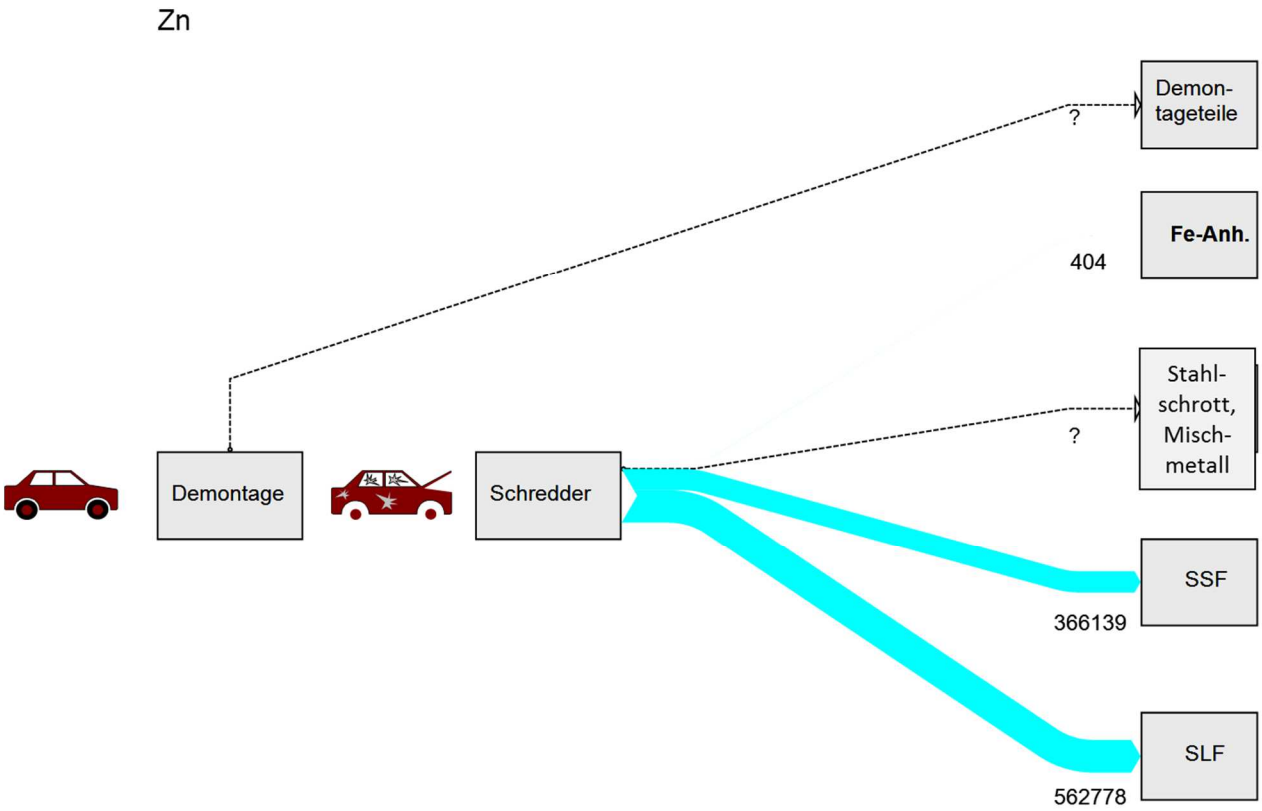
Quelle: eigene Berechnung und Darstellung auf der Grundlage von der Daten aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (Kapitel 2), der Ergebnisse der chemischen Analytik (Kapitel 3) sowie der Anzahl von Altfahrzeugen entsprechend Sander et al. (2017c) und DESTATIS (2015).

Abbildung 110: Identifizierte Massenströme von Sb in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a)



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung auf der Grundlage von der Daten aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (Kapitel 2), der Ergebnisse der chemischen Analytik (Kapitel 3) sowie der Anzahl von Altfahrzeugen entsprechend Sander et al. (2017c) und DESTATIS (2015).

Abbildung 111: Identifizierte Massenströme von Zn in der Altfahrzeugbehandlung (Angaben in kg/a)



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung auf der Grundlage von der Daten aus der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne (Kapitel 2), der Ergebnisse der chemischen Analytik (Kapitel 3) sowie der Anzahl von Altfahrzeugen entsprechend Sander et al. (2017c) und DESTATIS (2015).

Es zeigen sich die hohen Frachten, die über die Pfade SSF und SLF entsorgt werden. Im Vergleich hierzu stellen die Massen in den Anhaftungen der Fe-Fraktion geringe Anteile dar.

Der überwiegende Anteil des Ag wird über die SSF ausgetragen wird. Angaben zu den Massenströmen von Au können nicht gemacht werden, da die Konzentrationen in den Analysen (siehe Kapitel 3) unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Die in der Kampagne behandelten Altfahrzeuge wurden durchschnittlich zum ersten Mal im Jahr 1997 zugelassen. Die zunehmende Digitalisierung der Fahrzeuge lässt einen deutlichen Anstieg der Edelmetallmengen in Altfahrzeugen in den kommenden Jahren erwarten.

Dies gilt auch für Nd, das in vergleichbaren Mengen in der SSF und der SLF identifiziert wurde. Auch hier kann durch die zunehmende Anzahl von Magneten (z. B. in Stellmotoren) von einer Zunahme der Frachten ausgegangen werden.

Die identifizierten Frachten von Cr und Ni zeigen die Relevanz unter anderem von Legierungen auf. Auch hier zeigte sich eine Verteilung in vergleichbarer Größenordnung auf die SSF und SLF.

Die Pb- und Sb-Frachten zeigen die Bedeutung der Nachbehandlung der SSF und SLF unter Schadstoffgesichtspunkten auf oder alternativ einer möglichen Separation vor dem Schreddern.

Für die Fraktionen Stahlschrott, VA-Stahl und Mischmetalle wurden Legierungen bestimmt. Eine Hochrechnung ist aufgrund der geringen Probenzahl zwar nicht möglich. Die festgestellten exemplarischen Gehalte an Legierungsmetallen zeigten jedoch die Relevanz ihrer Berücksichtigung bei möglichen Ansätzen zur Optimierung einer hochwertigen Verwertung (siehe für weitere Information Kapitel ►).

5.2 Praktizierte Verbleibswege

Zur Aufzeigung einer möglichen höherwertigen Verwertung und Steigerung der Ressourceneffizienz waren Informationen über die Verbleibswege der Outputfraktionen der Demontagebetriebe und Schredderbetreiber in Deutschland erforderlich. Hierzu wurden Informationen aus den vorliegenden statistischen Informationen, den praktizierten Verbleibswegen der beteiligten Schredder- und Demontagebetriebe und den Ergebnissen aus einer Umfrage mittels eines standardisierten Fragebogens verwendet.

Tabelle 174: Vorgehen zur Identifizierung der praktizierten Verbleibswege von Outputfraktionen

Information	Demontagebetriebe	Schredderbetriebe
Statistische Informationen über die Situation im Bundesgebiet	Statistisches Bundesamt	Statistisches Bundesamt
Outputfraktion in Altfahrzeugverwertungskampagne	Bereits in Kapitel 2 berücksichtigt	Bereits in Kapitel 2 berücksichtigt
Verbleibswege der Outputfraktionen beteiligter Betriebe	Schriftliche Befragung	Schriftliche Befragung
Verbleibswege der Outputfraktionen weiterer Betriebe	Entwicklung eines standardisierten Fragebogens Versendung an 50 ausgewählte Betriebe in Deutschland Auswertung	Entwicklung eines standardisierten Fragebogens Versendung an alle Betriebe in Deutschland Auswertung

5.2.1 Informationen des Statistischen Bundesamts

Zur Erhebung der praktizierten Verbleibswege wurden zunächst die bereits vorliegenden, statistischen Informationen genutzt. Hier lag eine Publikation von Destatis aus dem Bereich Abfallwirtschaft aus den Erscheinungsjahren 2011, 2012 und 2013 mit den entsprechenden Daten aus den Vorjahren vor[37]. Es werden das Aufkommen, die Verwertung und die Beseitigung von Abfällen dokumentiert und quantifiziert. Im Anhang A befindet sich ein Auszug relevanter, statistischer Informationen aus dem Erhebungsjahr 2012.

Aus den Daten des Statistischen Bundesamtes gehen die im folgenden Abschnitt genannten Informationen über das Aufkommen, die Verwertung und die Beseitigung von Abfällen hervor. Relevante Informationen befinden sich insbesondere im Kapitel 9 „Demontagebetriebe für Altfahrzeuge“ und Kapitel 10 „Schredderanlagen und Schrottscheren‘“.

Die Kapitel sind aufgeteilt in die Bereiche Input und Output. Die Angaben sind in 1.000 t angegeben.

Das Kapitel 9 „Demontagebetriebe für Altfahrzeuge“ enthält zusätzlich Informationen über Anzahl der demontierten Altfahrzeuge und Restkarossen nach Jahren. Die Outputströme werden unterschieden in „Abfälle zur Beseitigung“, „Abfälle zur Verwertung“ und „Abgabe an Sonstige“. Es liegt eine Differenzierung nach Abfallart mit der dazugehörigen Schlüsselnummer nach Europäischen Abfallkatalog bzw. eine weitergehende Differenzierung in 8-stellige ASN entsprechend den Vorgaben von DESTATIS vor.

Für Altfahrzeug-Demontage- und Schredderbetriebe ist die Gruppe der 16er Schlüsselnummern – insbesondere 1601, 16 06 und 16 08 – vorgesehen. Zusätzlich werden in der Praxis die 07er, 12er, 15er, 17er, 19er und 20er Kapitel der AVV von Demontagebetrieben genutzt. Die Schredderanlagen haben

[37] „Abfallentsorgung - Fachserie 19 Reihe 1“.

einen gemischten Input und nutzen zusätzlich auch die 03er, 07er, 09er und 11er Kapitel. Der Output enthält Abfälle wie z. B. 19 12 06 * „Holz, das gefährliche Stoffe enthält“. Einen Rückschluss, ob diese Abfälle im Output der Anlagen auf die erhöhte Aufschlüsselung oder den gemischten und zusätzlichen Input der Schredderanlagen zurückzuführen sind, lässt die Statistik nicht zu.

Es ist anzunehmen, dass die Altfahrzeug-Demontage- und Schredderbetriebe die Gruppen des Europäischen Abfallkataloges unterschiedlich im Rahmen der Dokumentation ihrer Outputfraktionen interpretieren. Beispielsweise wird bei Altfahrzeug-Demontagebetrieben die Outputfraktion „Eisen“ nicht immer unter dem ASN 16 01 17 „Eisenmetalle“, sondern ebenfalls unter der ASN 17 04 05 „Eisen und Stahl“ in der Gruppe der „Bau- und Abbruchabfälle“ oder unter 19 12 02 „Eisenmetalle“ in der Gruppe der „Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke“. Die Menge des Aufkommens als auch die Anzahl der so handelnden Betriebe ist eher gering: Im Jahr 2012 sind beispielsweise unter der ASN 17 04 05 „Eisen und Stahl“ 17 Betriebe aufgeführt, die mit 3.500 t einen quantitativ kleinen Anteil im Vergleich zu der Outputfraktion mit der ASN 16 01 17 „Eisenmetalle“ (173 Betriebe mit 17.900 t) abbilden.

Die aktuell praktizierten Verbleibswege lassen sich aus der Statistik nicht explizit erkennen und lassen auch keine Aussage zu, ob z. B. die Betriebsgröße Einfluss auf die Demontagetiefe hat. Aus der Differenz zwischen Input und Output lässt sich nicht bestimmen, ob Materialströme eingelagert oder wiederverwendet werden. Der Endverbleib wird nicht ausgewiesen. Die Erfassung der Massen, durch die verwendete Maßeinheit 1.000 t, wird dem jeweiligen Aufkommen der Abfallgruppen deutschlandweit gerecht. Es wird aber nicht berücksichtigt, dass z. B. Ölfilter wesentlich geringere Massenanteile als metallische Bauteile in Altfahrzeugen haben. Einige ASN werden nur durch wenige Demontagebetriebe genutzt. Das vorgegebene Raster lässt dann nicht erkennen, wie es zur Auswahl dieser ASN kam. Wenn deutschlandweit weniger als 100 t einer Outputfraktion gemeldet werden, wird diese Gruppe von Abfällen in der Abfallstatistik nicht weiter berücksichtigt.

5.3 Verbleibspfade der Outputfraktionen aus der Demontage

5.3.1 Verbleibswege der Outputfraktionen der beteiligten Demontagebetriebe

Die Offenlegung der Outputfraktionen bei den in der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne partizipierenden Altfahrzeug-Demontagebetrieben wurde bereits bei der Datenerhebung in Kapitel 2 berücksichtigt. Die vorliegenden Daten sind in Tabelle 175 und Tabelle 176 aufbereitet. Die Verbleibswege der Outputfraktionen des Demontagebetriebs 3 wurden nicht vorgelegt.

Tabelle 175: Verbleibswege Demontagebetrieb 1

Nr.	Bezeichnung	ASN	Verbleibsweg
1	nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	13 02 05*	Stoffliche Verwertung/Ölaufbereitung
2	Heizöl und Diesel	13 07 01*	Wiederverwendung/Eigenverbrauch im Fuhrpark
3	Benzin	13 07 02*	Wiederverwendung/Eigenverbrauch im Fuhrpark
4	Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW, HFKW	14 06 01*	Wiederverwendung/Handel
5	Altreifen	16 01 03	Energetische Verwertung/Zementwerk
6	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten (Restkarossen)	16 01 06	Stoffliche Verwertung/Schredderanlage

Nr.	Bezeichnung	ASN	Verbleibsweg
7	Ölfilter	16 01 07*	Stoffliche Verwertung
8	Bremsflüssigkeiten	16 01 13*	Stoffliche Verwertung
9	Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten	16 01 14*	Stoffliche Verwertung
10	metallische Bauteile/Ersatzteile (Gewichtsanteil)	16 01 22 01	Wiederverwendung/Handel mit Endverbraucher
11	nicht metallische Bauteile/Ersatzteile (Gewichtsanteil)	16 01 22 02	Wiederverwendung/Handel mit Endverbraucher
12	Bleibatterien	16 06 01*	Stoffliche Verwertung
13	gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	16 08 07*	Stoffliche Verwertung
14	Eisenmetalle (Stahlfelgen)	16 01 17	Stoffliche Verwertung
15	Nichteisenmetalle (Alufelgen)	16 01 18	Stoffliche Verwertung

Tabelle 176: Verbleibswege Demontagebetrieb 2

Nr.	Bezeichnung	ASN	Verbleibsweg
1	nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralbasis	13 01 10*	Stoffliche Verwertung/Ölaufbereitung nach Entsorgungsverfahren R9
2	Heizöl und Diesel	13 07 01*	Wiederverwendung/Eigenverbrauch im Fuhrpark
3	Benzin	13 07 02*	Wiederverwendung/Eigenverbrauch im Fuhrpark
4	Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW, HFKW	14 06 01*	Wiederverwendung/Eigenverbrauch
5	Altreifen	16 01 03	Stoffliche Verwertung/Energetische Verwertung
6	Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten (Restkarossen)	16 01 06	Stoffliche Verwertung/Schredderanlage
8	Bremsflüssigkeiten	16 01 13*	Stoffliche Verwertung/Rückgewinnung nach Entsorgungsverfahren R12
9	Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten	16 01 14*	Stoffliche Verwertung/Rückgewinnung nach Entsorgungsverfahren R3
10	Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 14 fallen	16 01 15	Stoffliche Verwertung/Rückgewinnung nach Entsorgungsverfahren R3
11	Kunststoffe	16 01 19	Wiederverwendung/Handel
12	Glas	16 01 20	Wiederverwendung/Handel
10	metallische Bauteile/Ersatzteile (Gewichtsanteil)	16 01 22 01	Wiederverwendung/Handel

Nr.	Bezeichnung	ASN	Verbleibsweg
11	nicht metallische Bauteile/Ersatzteile (Gewichtsanteil)	16 01 22 02	Wiederverwendung/Handel
12	Bleibatterien	16 06 01*	Stoffliche Verwertung/Rückgewinnung
13	gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	16 08 07*	Stoffliche Verwertung/Rückgewinnung
14	zusätzliche Demontage (Platinen, Stellmotoren, Elektronik)	*k. A.*	Als Ersatzteil auf Anfrage
14	Aluminium	17 04 02	Stoffliche Verwertung/Rückgewinnung
15	Eisen und Stahl	17 04 05	Stoffliche Verwertung/Rückgewinnung

5.3.2 Datenerhebung bei weiteren Altfahrzeug-Demontagebetrieben

Ein standardisierter Fragebogen zur Erhebung der Verbleibswege von Fraktionen bei Demontagebetrieben (siehe auch Anhang 7.1) wurde vom 11.03.2016 bis zum 31.05.2016 an 728 E-Mailadressen versendet. Zur Generierung dieser E-Mailadressen wurde auf die Datenbanken der Gemeinsamen Stelle Altfahrzeuge (GESA) der Bundesländer zurückgegriffen. Entsprechend der Daten dieser Datenbank bestehen 1.302 registrierte Demontagebetriebe in Deutschland. Von den übrigen 574 Demontagebetrieben lagen in der Datenbank keine e-Mailadressen vor. Von den 728 E-Mailadressen aus der GESA-Datenbank waren 63 ungültig.

Insgesamt haben auch nach intensivem Kontaktieren angeschriebener Betrieb vier Betriebe einen ausgefüllten Fragebogen zurückgesendet. Zwei dieser Betriebe, von denen Antworten vorlagen, wurden noch einmal kontaktiert, um Widersprüche zu lösen und Lücken zu schließen. Als wesentlicher Grund für die sehr geringe Rücklaufrate wurde der (vom UBA gewünschte) Umfang des Fragebogens und der damit verbundene Arbeitsaufwand für die Betriebe genannt.

Da einer der Fragebögen keine verwertbaren Informationen enthielt, sind nachfolgend die Ergebnisse der Erhebung von drei Betrieben dargestellt.

Tabelle 177: Demontage: Verbleibszweck (Ergebnis der Fragebogen-Erhebung)

Nr.	Im Fragebogen genutzte Bezeichnungen	ASN	Demontagebetrieb 4	Demontagebetrieb 5	Demontagebetrieb 6
1	nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralbasis	13 01 10*			
2	nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	13 02 05*	Stoffliche Verwertung	Stoffliche Verwertung/ Ölraffinerie	Stoffliche Verwertung
3	Heizöl und Diesel	13 07 01*	Eigenverbrauch		
4	Benzin	13 07 02*	Eigenverbrauch		
5	Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW, HFKW	14 06 01*		Stoffliche Verwertung/ Aufbereitung im eigenen Klimagerät und Wiederverwendung in Kfz-Werkstatt	Stoffliche Verwertung/ Eigenverbrauch
6	Altreifen	16 01 03	Energetische Verwertung	Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger	Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger
7	Ölfilter	16 01 07 *		Stoffliche Verwertung/ MVA	Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger
8	Explosive Bauteile	16 01 10 *		Stoffliche Verwertung/ Schredder	Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger
9	Bremsflüssigkeiten	16 01 13*	Stoffliche Verwertung	Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger	Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger
10	Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten	16 01 14*		Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger	Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger
11	Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 14 fallen	16 01 15	Verkauf als Ersatzteil		Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger
12	Nichteisenmetalle	16 01 18		Stoffliche Verwertung/ Zwischenhandel	
13	Kunststoffe	16 01 19		Stoffliche Verwertung/	

Nr.	Im Fragebogen genutzte Bezeichnungen	ASN	Demontagebetrieb 4	Demontagebetrieb 5	Demontagebetrieb 6
				Örtlicher Entsorger	
14	Glas	16 01 20		Beseitigung	
15	Bauteile a.n.g. nicht differenzierbar	16 01 22 00		Energetische Verwertung	
16	metallische Bauteile/Ersatzteile	16 01 22 01	Keine weitere Angabe		Verkauf als Ersatzteil
17	nicht metallische Bauteile/Ersatzteile	16 01 22 02			
18	zusätzliche Demontage (Platinen, Stellmotoren, Elektronik)	16 02 14		Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger	
19	Bleibatterien	16 06 01*	Stoffliche Verwertung	Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger	
20	gebrauchte Katalysatoren	16 08 03			Verkauf als Ersatzteil
21	gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	16 08 07*		Stoffliche Verwertung/ Örtlicher Entsorger	
22	Kupfer, Bronze, Messing	17 04 01		Stoffliche Verwertung/ Zwischenhandel	
23	Aluminium	17 04 02		Stoffliche Verwertung/ Zwischenhandel	
24	Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 170410 fallen	17 04 11		Stoffliche Verwertung/ Zwischenhandel	
25	Separat gelagerte Baugruppen aus Eisenmetallen für eine differenzierte, höherwertige Verwertung z. B. Motor, Gelenkwellen, …		Stoffliche Verwertung		95 % Stoffliche Verwertung 5 % Verkauf als Ersatzteil
26	Separat gelagerte Baugruppen aus Nichteisenmetallen für eine differenzierte, höherwertige Verwertung z. B. Motor, Gelenkwellen, …				Verkauf als Ersatzteil

5.3.3 Verbleibspfade der Outputfraktionen aus dem Schredder

Zur Erhebung des Verbleibs der Outputfraktionen der Schredderbetriebe wurde ebenfalls ein Fragebogen entwickelt (siehe Kapitel 7.2). Für die schriftliche Befragung wurden zunächst am 13.06.2016 an 33 Schredderbetriebe ein Formular des Fragbogens gesendet. Hierbei wurde auf die Datenbanken der Gemeinsamen Stelle Altfahrzeuge der Bundesländer zurückgegriffen und außerdem bei fehlenden Adressen eine Recherche vorgenommen. Auch hier zeigte sich vor allem aufgrund des vom UBA gewünschten Umfangs des Fragebogens eine geringe Bereitschaft zur Beantwortung und es wurde trotz intensiver Kommunikation mit den Betrieben kein ausgefüllter Fragebogen zurückgeschickt.

Da im Rahmen des Kapitels 2 bereits die teilnehmenden Unternehmen hinsichtlich ihrer Verbleibswege befragt wurden, wurden die Ergebnisse hinzugezogen. Die Ergebnisse umfassen zum einen konzernweite Angaben zu allen Schredderstandorten und zum anderen die Verbleibswege aus den Schredderversuchen.

Die folgende Tabelle 179 sowie die Tabelle 178 zeigen die Verbleibswege der Outputströme der an der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagne beteiligten Schredderbetriebe auf.

Tabelle 178: Schredderbetrieb 1: Verbleibswege der Outputströme

Nr.	Bezeichnung	Verbleibsweg
1	Stahlprodukte	Stahlwerke im In- u. Ausland
2	Sonstige metallhaltige Fraktionen	Schmelzwerke im In- u. europäischen Ausland, Mechanische Aufbereitung im Ausland
3	Stahlprodukte	Stahlwerke im In- u. Ausland
4	NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	Schmelzwerke im In- u. europäischen Ausland, Mechanische Aufbereitung im Ausland
5	Mineralik < 2 mm	Deponieersatzbaustoff
6	Staubfraktionen	Entsorgung als gefährlicher Abfall, Deponie
7	Kunststoffe	Verkauf an kunststoffverarbeitende Industrie
8	Ersatzbrennstoffe	Energetische Verwertung, Lieferung an EBS-Verwerter
9	Stahlprodukte	Stahlwerke im In- u. Ausland
10	NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	Schmelzwerke im In- u. europäischen Ausland, Mechanische Aufbereitung im Ausland
11	Mineralik	Deponieersatzbaustoff
12	Staubfraktionen	Entsorgung als gefährlicher Abfall, Deponie
13	Kunststoffe	Verkauf an kunststoffverarbeitende Industrie
14	Ersatzbrennstoffe	Energetische Verwertung, Lieferung an EBS-Verwerter

Tabelle 179: Schredderbetrieb 2: Verbleibswege der Outputströme

Nr.	Bezeichnung	Verbleibsweg
1	Stahlschrott	Schmelzwerk zum Teil Ausland
2	Cu-Fe-Anker	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung
3	Eisenstaub	Deponie
4	SSF Absieb	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung
5	Mischmetalle M1	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung zum Teil im Ausland
6	Mischmetalle M2	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung zum Teil im Ausland
7	VA-Restfraktion	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung zum Teil im Ausland
8	VA-Schrott	Schmelzwerk zum Teil Ausland
9	Messing	Schmelzwerk / Mechanische Aufbereitung zum Teil Ausland
10	Kupfer	Schmelzwerk / Mechanische Aufbereitung zum Teil Ausland
11	Mischmetalle M3/M4	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung
12	VA-Restfraktion	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung
13	Leiterplatten	Metallseparation
14	Aluminium	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung
15	SSF Überkorn	Mechanische Aufbereitung
16	Mischmetalle aus Handklaubung SSF	Mechanische Aufbereitung gemeinsam mit 3 und 4
17	Filterstaub	Deponie
18	SLF fein	Bergversatz, Deponieverwertung 50,9 %stofflich, Rest Beseitigung
19	SLF grob	MVA, EBS-Aufbereitung
20	Mischmetalle aus SLF	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung
21	Sorte 4 aus Überbandmagnet	Mechanische Nachbereitung

Tabelle 180 stellt die Verbleibe der Outputfraktionen für den Gesamtkonzern des Schredderbetriebes 2 dar.

Tabelle 180: Schredderbetrieb 2 Gesamtkonzern: Verbleibswege der Outputströme (2013)

Nr.	Fraktion	ASN	Verbleibsweg
1	Stahlschrott / Sorte 4 / 47 / 84 / 85	19 10 01	Hüttenwerke
2	Schredderschwerfraktion	19 10 06	Mechanische Aufbereitung /Metallseparation
3	Cu-Fe-Anker	19 10 06 / 16 02 16	Mechanische Aufbereitung /Metallseparation
4	Metalle aus SLF	19 12 03	Mechanische Aufbereitung /Metallseparation
5	Aluminium	19 12 03	Hüttenwerke
6	Kupfer	19 12 03	Hüttenwerke

Nr.	Fraktion	ASN	Verbleibsweg
7	Messing	19 12 03	Hüttenwerke
8	VA	19 12 03	Hüttenwerke
9	Schwermetalle	19 12 03	Mechanische Aufbereitung / Metallseparation
10	Mischmetalle	19 12 03	Mechanische Aufbereitung / Metallseparation
11	VA-Rest-Fraktion	19 10 06 / 19 12 12	Mechanische Aufbereitung / Metallseparation
12	SSF-Absieb	19 12 12	Mechanische Aufbereitung / Metallseparation
13	Fe-Staub	19 12 12	Beseitigung / Deponie
14	Rückstände Eddy-Current	19 12 12	Energetische Verwertung
15	SLF grob	19 12 12	100 % Energetische Verwertung
16	SLF fein	19 12 12	52,9 % stoffl. Verwertet (Bergversatz, Deponieverwertung), 13,7 % energetisch Verwertet, Rest Beseitigung (Verbrennung, Deponie)
17	SLF gesamt	19 10 04	Energetische Verwertung / Mechanische Aufbereitung
18	Schredderholz	19 12 06	Energetische Verwertung
19	Platinen	19 12 12	Metallseparation

Eine Auswertung der Rückmeldungen erfolgt in den folgenden Kapiteln.

5.4 Bewertung der Hochwertigkeit der Verwertungspraxis der in den Schredderoutputfraktionen enthaltenen Wertstoffe

5.4.1 Vorgehen

Die Bewertung der Hochwertigkeit der Verwertung der Schredderoutputfraktionen erfolgte auf Basis der folgenden Arbeitsschritte:

- Identifizierung relevanter Wertstoffe in Altfahrzeugen auf Basis einer Literaturrecherche in Ergänzung zu den Erhebungen im Rahmen der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagnen,
- Beschreibung des Verbleibs dieser Wertstoffe in den Schredderouputfraktionen,
- Beschreibung des Endverbleibs der Schredderoutputfraktionen und die Art der Sekundärnutzung der Fraktionen (oder ihrer Beseitigung),
- Entwicklung eines Kriterienrasters zur Bewertung der Hochwertigkeit des Endverbleibs,
- Bewertung des Endverbleibs der Wertstoffe in den Outputfraktionen auf Basis des Kriterienrasters.

5.4.2 Wertstoffe in Altfahrzeugen

Zur Bewertung des aktuellen Standes der Hochwertigkeit bei der Altfahrzeugverwertung und der Identifizierung bestehender noch unausgeschöpfter Hochwertigkeitspotenziale wurden zunächst die relevanten Wertstoffe ermittelt, die aktuell oder mittelfristig in Altfahrzeugen enthalten sein können. Fahrzeuge können mehrere tausend Stoffe enthalten (vgl. GADSL 2016). Im ersten Arbeitsschritt musste somit eine Fokussierung der Betrachtung erfolgen. Auf der Grundlage von Literaturrecherchen und eigener Bewertungen wurden die relevanten in Altfahrzeugen enthaltenen (Wert-)Stoffe bzw. Materialien als Basis für die weiteren Untersuchungen identifiziert. Tabelle 181 beschreibt wesentliche Quellen, die für diese Recherche herangezogen wurden.

Tabelle 181: In Altfahrzeugen enthaltene Wertstoffe

Wertsoffgruppe	Bezeichnung des Wertstoffs	Referenz
Stähle (metallische Legierungen mit Hauptbestandteil Eisen, Kohlenstoffanteil > 0,002 %< 2,06 %)	Kaltgewalzte Stahlfeinbleche zur Kaltverformung	VDA 231-106 Werkstoffklassifizierung im Kraftfahrzeugbau
	Warmgewalzte Flachprodukte zur Kaltformgebung	VDA 231-106 Werkstoffklassifizierung im Kraftfahrzeugbau
	Edelstähle	VDA 231-106 Werkstoffklassifizierung im Kraftfahrzeugbau
	Nichtrostende Stähle	VDA 231-106 Werkstoffklassifizierung im Kraftfahrzeugbau
	Sinterstähle	VDA 231-106 Werkstoffklassifizierung im Kraftfahrzeugbau
	Gusswerkstoffe	VDA 231-106 Werkstoffklassifizierung im Kraftfahrzeugbau
Legierungselemente	Chrom	Ohno (2014, S. 248)
	Mangan	Bartos & Quitter (2008)
	Molybdän	Ohno (2014, S. 248); Faulstich et al. (2015, S. 150)
	Nickel	Ohno (2014, S. 248)
	Vanadium	Knobloch et al. (unveröffentlicht)
NE-Metalle	verschiedene Aluminium-Knetlegierungen	Schmidt 2016 (pers. Kom.)
	verschiedene Aluminium-Gusslegierungen	Schmidt 2016 (pers. Kom.)
	Magnesium	Knobloch et al. (unveröffentlicht)
	Beryllium	Knobloch et al. (unveröffentlicht)
	Antimon	Faulstich et al. (2015, S. 150)
	Cer	Faulstich et al. (2015, S. 150); Adler & Müller (2014, S. 125)
	Dysprosium	Du et al. (2015); Alonso et al. (2012); Cullbrand & Magnusson (2011); Faulstich et al. (2015, S. 150)
	Europium	Du et al. (2015)
	Gadolinium	Du et al. (2015); Andersson (2014); Cullbrand & Magnusson (2011)
	Lanthan	Chalmers 2011; Faulstich et al. (2015), S. 150
	Neodym	Alonso et al. 2012; Chalmers 2011; Faulstich et al. (2015), S. 150
	Niob	Andersson 2014; Chalmers 2011

Wertsoffgruppe	Bezeichnung des Wertstoffs	Referenz
	Praseodym	Du et al 2015; Alonso et al. 2012, S. 475; Chalmers 2011; Faulstich et al. (2015), S. 150
	Samarium	Du et al 2015; Faulstich et al. (2015), S. 150
	Scandium	Du et al 2015
	Tantal	Du et al 2015; Andersson 2014; Chalmers 2011; Knobloch et al. (unveröffentlicht)
	Terbium	Chalmers 2011; Knobloch et al. (unveröffentlicht)
	Ytterbium	Du et al 2015; Faulstich et al. (2015), S. 150; Adler & Müller (2014), S. 125
	Yttrium	Du et al 2015; Faulstich et al. (2015), S. 150
Edelmetalle	Gold	Knobloch et al. (unveröffentlicht)
	Kupfer	Knobloch et al. (unveröffentlicht)
	Palladium	Faulstich et al. (2015), S. 150
	Platin	Faulstich et al. (2015), S. 150
	Rhodium	Faulstich et al. (2015), S. 150
	Silber	Knobloch et al. (unveröffentlicht)
Weitere Metalle	Blei	Knobloch et al. (unveröffentlicht)
	Kobalt	Faulstich et al. 2015, S. 150
	Gallium	Faulstich et al. 2015, S. 150
	Germanium	Knobloch et al. (unveröffentlicht)
	Titan	Faulstich et al. 2015, S. 150
	Zink	Knobloch et al. (unveröffentlicht)
	Zinn	Knobloch et al. (unveröffentlicht)
Kunststoffe	ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol)	UNEP (2013, S. 57); Schmiemann et al. (1994)
	PA (Polyamide)	UNEP (2013, S. 57); Schmiemann et al. (1994)
	PET (Polyethylenterephthalat)	UNEP (2013, S. 57);
	PP (Polypropylen)	UNEP (2013, S. 57); Schmiemann et al. (1994)
	PUR (Polyurethane)	UNEP (2013, S. 57); Schmiemann et al. (1994)
Elastomere	NR (Naturkautschuk)	Bally (2003)
	SBR (Styrol-Butadien-Kautschuk, synthetischer Kautschuk)	Bally (2003)

Wertsoffgruppe	Bezeichnung des Wertstoffs	Referenz
Technische Keramik	Fahrzeugglas	UNEP (2013, S. 57)

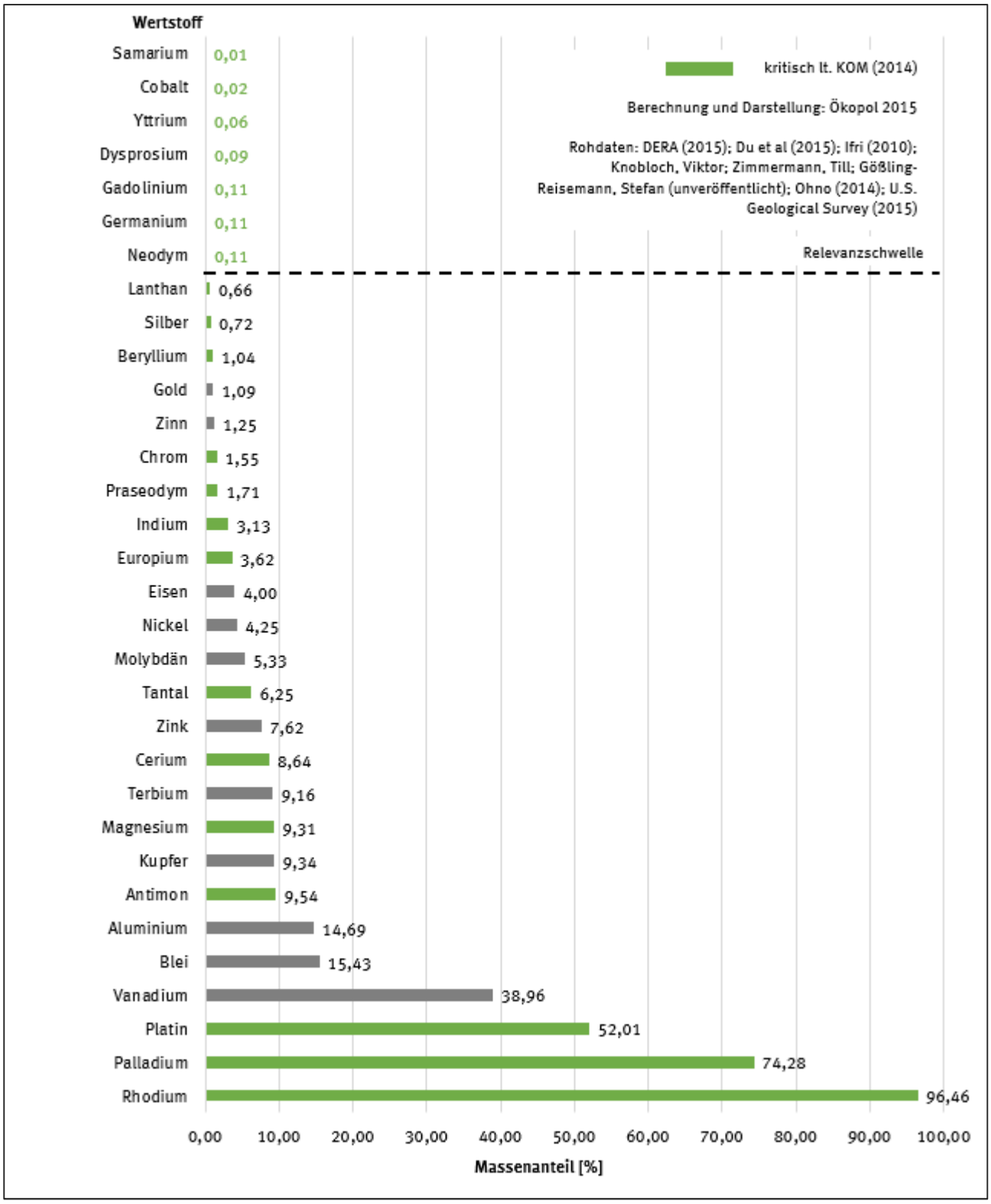
Kohlenstofffaserverbundwerkstoffe (CFK), Glasfaserverbundwerkstoffe (GFK) und Duroplaste sind im derzeitigen Altfahrzeugaufkommen nicht in relevanten Mengen enthalten.

Für die insgesamt 51 Stoffe bzw. Materialien, die als relevant für die aktuellen Altfahrzeuge identifiziert wurden, wurden auf der Grundlage von Literaturrecherchen die Massenrelevanz und Kritikalität betrachtet.

Abbildung 112 fasst die Massenrelevanz der metallischen Wertstoffe als Quotient der jeweiligen globalen Einsatzmenge in Fahrzeugen im Verhältnis zur globalen Produktionsmenge des jeweiligen Wertstoffs im Jahr 2014 zusammen. Da entsprechende quantifizierende Informationen zu den Elementen Gallium, Mangan, Niob, Scandium, Titan und Ytterbium nicht verfügbar waren, sind diese Elemente nicht in die folgende Grafik aufgenommen worden. Sofern es sich bei einem Wertstoff um einen in der EU kritischen Rohstoff (vgl. KOM 2014) handelt, wurde dies farbig indiziert. Es wird deutlich, dass insbesondere die Edelmetalle Rhodium, Palladium und Platin überwiegend in der Fahrzeugindustrie eingesetzt werden, während beispielsweise nur etwa vier Prozent des weltweit produzierten Stahls (Fe) für die Fertigung von Fahrzeugen aufgewendet wird.

Die verwendeten Daten sind verschiedenen Studien entnommen worden, in denen das Baujahr und das betrachtete Fahrzeugmodell variierten und nur teilweise spezifiziert wurden. So waren beispielsweise in der Studie von Du et al. (2015) andere PKW-Typen Gegenstand der Analyse als bei Knobloch et al. (unveröffentlicht) und die Autoren haben teilweise unterschiedliche Elemente betrachtet. Die dargestellten Massenanteile dienen daher als eine orientierende Einschätzung hinsichtlich der Größenordnung, in der Metalle gegenwärtig im Automobilbau eingesetzt werden.

Abbildung 112: Ungefähre Massenanteile metallischer Wertstoffe in Fahrzeugen an der Weltproduktion



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

Die Relevanzschwelle für die weitere Betrachtung wurde auf 0,5 % des Anteils der Automobilbranche gelegt, und somit die 25 Metalle aus Abbildung 112 oberhalb dieser Schwelle sowie Kunststoffe und Glas bei den folgenden Arbeitsschritten untersucht.

5.4.2.1 Wertstoffe in den Outputfraktionen aus dem Schredder

Für die identifizierten Materialien oberhalb der Relevanzschwelle wurde analysiert, in welchen Komponenten des Autos sie überwiegend eingesetzt werden (Hauptverwendungsbereiche), und es wurde eine Stoff-Komponenten-Matrix erstellt (siehe Tabelle 182 Spalten 1 und 2). Darauf aufbauend wurde über Primärerhebungen (Befragung von Demontagebetrieben und Schredderunternehmen und Expertengespräche) sowie Literaturauswertungen (Du et al. 2015, Faulstich et al. 2015, Nemry et al. 2008, Schmid Zur Lage 2014, Schmidt 2016 mündl.) recherchiert, in welchen Outputfraktionen der Prozesse der Altfahrzeugbehandlung die jeweiligen Komponenten verbleiben (siehe Tabelle 182 Spalten 3 bis 5). Für die Lokalisierung der Wertstoffe in Elektronikbauteilen wurde überwiegend auf die Ergebnisse des Forschungsprojekts ORKAM (Groke et al. 2015) zurückgegriffen. Zu beachten ist, dass es sich um eine Betrachtung der Hauptverbleibswege handelt. Teilmengen werden auch immer in andere Fraktionen ausgetragen.

Tabelle 182: Vorkommen relevanter Wertstoffe in Fahrzeugkomponenten und ihr Verbleib in den Schredderfraktionen

	Wertstoff	Komponente(n)	Fe-Fraktion	SSF	SLF
Stähle	Kaltgewalzte Stahlfeinbleche zur Kaltverformung	Karosserie (Bodenbleche, Türen, Dach)	x		
	Warmgewalzte Flachprodukte zur Kaltformgebung	Rahmen-Konstruktionsteile, Räder, Stanzteile	x		
	Edelstähle	Wellen, Pleuel, Radnabe, Achswelle, Querlenker, Lager, Motorventile	x (Ferrit)	x (Austenit)	
	Nichtrostende Stähle	Bremsscheiben, Abgasanlage, Ölwanne, verschiedene Ventile, Zierleisten	x (Ferrit)	x (Austenit)	
	Sinterstähle	Türschlösser, Handbremse, weitere Stahlbauteile	x		
	Gusswerkstoffe	Zylinderkurbelgehäuse, Kolben, Hinterachsgehäuse, Zahnkränze, Ritzel, Motorträger	x		
Legierungselemente					
	Cr	Verschiedene Stahlkomponenten	x	x	
	Mn	Verschiedene Stahlkomponenten	x	x	
	Mo	Verschiedene Stahlkomponenten	x	x	
	Ni	Verschiedene Stahlkomponenten, aber auch in Zierblenden, Kühlergrill und Reflektoren	x	x	
	V	Verschiedene Stahlkomponenten	x	x	
Bunt- und Leichtmetalle	Al Knetlegierungen	Verschiedene Komponenten im Fahrwerk, Lenk- und Bremssystem	(x)	x	
	Al Gusslegierungen	Motorblock	(x)	x	
	Be	Stecker (Kupferkontakte), Leiterplatten		x	x
	Cu	Kabel, Motoren, Leiterplatten	x	x	x
	Mn	Magnesiumhaltige Bauteile		x	x

	Wertstoff	Komponente(n)	Fe-Fraktion	SSF	SLF
	Pb	Starterbatterie, Lötmittel, in älteren Fahrzeugen Auswuchtgewichte, Kohlebürsten für Elektromotoren und Bremsbeläge	Batterie-Demontage vor dem Schredder		
			(x)	x	x
	Sn	Leiterplatten (Lote)		x	x
	Zn	Radauswuchtgewichte, Oberflächenbeschichtung von Stahl-Bauteilen	x	x	
Edelmetalle	Ag	Leiterplatten			x
	Au	Leiterplatten, Kabelkontakte			x
	Pd	Katalysator	Demontage vor dem Schredder		
	Pt	Katalysator	Demontage vor dem Schredder		
	Rh	Katalysator	Demontage vor dem Schredder		
Weitere Metalle	Ce	Katalysator	Demontage vor dem Schredder		
		Frontscheibe (UV-Schutz)			x
	Eu	Displays mit LED-Hintergrundbeleuchtung		x	x
	Ga	Bestückte Leiterplatten, LEDs		x	x
	La	Katalysator	Demontage vor dem Schredder		
	Nd	Motoren, Lautsprecher, Sensoren, Kompressoren	x	x	x
	Pr	Magnete (in Kombination mit Neodym)	x	x	x
	Sb	Bremsbeläge, Leiterplatten		x	x
	Sc	bestückte Leiterplatten			x
	Ta	LEDs, Kondensatoren			x

	Wertstoff	Komponente(n)	Fe-Fraktion	SSF	SLF
	Yb	bestückte Leiterplatten, Displays mit LED-Hintergrundbeleuchtung			x
	Y	bestückte Leiterplatten			x
Kunststoffe	ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol)	Stoßfänger, Scheinwerfer, Armaturenbrett, Handschuhkasten			x
	PA (Polyamide)	Kraftstoffanlage, Motorabdeckung			x
	PE (Polyethylen)	Kraftstoffbehälter			
	PET (Polyethylenterephthalat)	Sitzbezüge			x
	PP (Polypropylen)	Stoßfänger, Radhausschalen, Scheinwerfer, Luftfiltergehäuse			x
	PUR (Polyurethan)	Polster (Sitze), Türverkleidungen			x
Elastomere	NR (Naturkautschuk)	Reifen (werden teilweise vor dem Schreddern demontiert)		x	x
	SBR (Styrol-Butadien-Kautschuk, synthetischer Kautschuk)	Reifen (werden teilweise vor dem Schreddern demontiert)		x	x
Technische Keramik	Fahrzeugglas	Front-, Heck-, Seiten-, und Dachfenster		x	x

In Tabelle 183 ist der Verbleib der Wertstoffe in den Schredder-Outputfraktionen Fe-Fraktion, Cu-Fe-Fraktion, Schredderschwerfraktion (SSF) und Schredderleichtfraktion (SLF) der durchgeführten Schredderkampagne (vgl. Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne) dargestellt.

Für die Wertstoffe Samarium, Yttrium, Dysprosium, Gadolinium, Germanium, Neodym, Kobalt und Lanthan wurden der Verbleib aufgrund ihrer geringen Massenrelevanz (vgl. Abbildung 112) nicht separat dargestellt. Diese Elemente werden in Kapitel 5.4.3 in Bezug auf ihren Verbleib und die Hochwertigkeitsfrage diskutiert.

Sofern im Rahmen der Analytik die Massenanteile (Gew%) bzw. die Konzentration (mg/kg) für die in den Outputfraktionen enthaltenen Wertstoffe ermittelt wurden, sind diese Werte dargestellt. Dies betrifft die SSF und die SLF. Für die Cu-Fe-Fraktion wurde aufgrund der heterogenen Zusammensetzung der Einzelproben (wie etwa „Messing-Ring“, „Magnet“ oder „Radaufhängung“) lediglich durch ein „x“ indiziert, ob der jeweilige Wertstoff in der Fraktion nachgewiesen wurde. Eine Quantifizierung erfolgte ausschließlich für Fe und Cu.

Tabelle 183: Übersicht über die Gehalte der Wertstoffe in den Schredderoutputfraktionen (Gew%) (Quelle: Analytik im Rahmen der Schredderkampagne)

Wertstoffgruppe	Bezeichnung des Wertstoffs	Fe-Fraktion 1	Fe-Fraktion 2	Cu-Fe-Anker Fraktion 1	Cu-Fe-Anker Fraktion 2	SSF 1 < 2 mm	SSF 2 < 18 mm	SLF 1	SLF 2
Fe	**Fe**	95,646 %	92,200 %	71,00 %	56,00 %	0,06 %	0,17 %	0,89 %	1,68 %
Legierungselemente	Cr	0,116 %	0,078 %	x	x	0,1070 %	0,1180 %	0,0250 %	0,0220 %
	Mn	0,284 %	0,456 %	x	x	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Mo	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Ni	0,016 %	0,094 %	x	x	0,0510 %	0,0250 %	0,0220 %	0,0170 %
	V	0,002 %	0,044 %	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
Edelmetalle	Ag	n. n.	n. n.	x	x	0,00282 %	0,00275 %	0,0005 %	0,00085 %
	Au	n. n.	n. n.	x	x	< 0,001 %	< 0,001 %	< 0,001 %	< 0,001 %
	Pd	n. n.	n. n.	x	x	< 0,001 %	< 0,001 %	< 0,001 %	< 0,001 %
	Pt	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Rh	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
NE-Metalle	Al	1,280 %	1,053 %	x	x	0,07 %	0,30 %	1,02 %	0,83 %
	Be	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	0,000019 %	0,000015 %	0,000011 %	0,000012 %
	Ce	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Co	0,010 %	n. n.	x	x	0,0039 %	0,0255 %	0,0013 %	0,000999 %
	Cu	0,147 %	0,713 %	21,00 %	37,00 %	0,76 %	1,48 %	0,52 % +2,79 %	0,82 %
	Eu	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Ga	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Ge	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.

Wertstoffgruppe	Bezeichnung des Wertstoffs	Fe-Fraktion 1	Fe-Fraktion 2	Cu-Fe-Anker Fraktion 1	Cu-Fe-Anker Fraktion 2	SSF 1 < 2 mm	SSF 2 < 18 mm	SLF 1	SLF 2
	La	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Mg	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Nb	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Nd	n. n.	n. n.	x	x	0,0063 %	0,001 %	0,001900	0,001300
	Pb	0,222 %	0,094 %	x	x	1,278 %	0,2020 %	0,326 %	0,148 %
	Pr	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Sb	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	0,0039 %	0,0088 %	0,0272 %	0,0215 %
	Sc	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Sn	n. n.	n. n.	x	x				
	Ta	n. n.	n. n.	x	x	< 0,001 %	< 0,001 %	< 0,001 %	< 0,001 %
	Tb	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Ti	0,104 %	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.
	Zn	0,535 %	2,481 %	x	x	0,390 %	1,04 %	0,55 %	0,85 %
Kunststoffe	Diverse	Nicht bestimmt	Nicht bestimmt	Nicht bestimmt	Nicht bestimmt	3,62 %	21,88 %	73,82 %	73,98 %
Technische Keramik	Fahrzeugglas	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	60,83 %	29,56 %	10,58 %	4,32 %

5.4.2.2 Fe-Fraktion

Aus der Fe-Fraktion resultieren bei en Betrieben der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagnen die in der Tabelle 184 dargestellten Abfallfraktionen, die in Bezug auf ihre Bezeichnungen und Verbleibswege charakterisiert werden.

Tabelle 184: Abfallfraktionen aus der Fe-Fraktion (Quelle: Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne)

Eigenbezeichnung der Fraktion durch den Betreiber	Bezeichnung ASN-Katalog	ASN (Zuordnung durch den Betreiber)	Verbleibsweg	Betreiber
„Stahlprodukte“	Eisen- und Stahlabfälle	191001	Stahlwerke im In- u. Ausland	1
„Stahlschrott“	Eisen- und Stahlabfälle	191001	Schmelzwerk zum Teil Ausland	2
„Sonstige metallhaltige Fraktionen“	NE-Metall-Abfälle	191002	Schmelzwerke im In- u. europäischen Ausland, mechanische Aufbereitung im Ausland	1
„Cu-Fe-Anker“	Andere Fraktionen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 05 fallen	191006	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung	2

Aus den Ergebnissen der Analytik geht hervor, dass die Outputfraktion 19 10 01 „Eisen- und Stahlabfälle“ eine Vielzahl unterschiedlicher Stahllegierungen und entsprechende Legierungselemente enthält (vgl. Kapitel 3). Die Fraktion besteht zu 92,2 Gew%-95,6 Gew% aus Fe und enthält neben verschiedenen Legierungselementen insbesondere Aluminium (1,1 Gew%-1,3 Gew%), Zink (0,5 Gew%-2,5 Gew%), Kupfer (0,1 Gew%-0,7 Gew%) und Blei (0,1 Gew%-0,2 Gew%).

Die Fraktionen „Cu-Fe-Anker“ und „sonstige metallhaltige Fraktionen“ bestehen zu 56,0 Gew%-71,0 Gew% aus Eisen und zu 21,0 Gew%-37,0 Gew% aus Kupfer. Es wurden ähnliche Legierungselemente wie in der Fraktion „Stahlprodukte“ nachgewiesen (Chrom, Mangan und Nickel) sowie Aluminium, Neodym, Tantal, Gold, Palladium, Silber, Blei, Kobalt, Zink und Zinn. Für diese Fraktion werden die ASN 19 10 02 („NE-Metall-Abfälle“) und 19 10 06 („andere Fraktionen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 05 fallen“) verwendet.

Die Stahl-Fraktionen werden vollständig der stofflichen Verwertung in Stahlwerken zugeführt. Die Fraktionen „sonstige metallhaltige Fraktionen“ und „Cu-Fe-Anker“ werden der mechanischen Aufbereitung zugeführt.

5.4.2.3 Schredderschwerfraktion

Nach der Abtrennung der SLF sowie der Fe-haltigen Fraktionen wird die verbleibende SSF in verschiedene Fraktionen separiert (vgl.

Tabelle 185 stellt Bezeichnungen und Verbleibswege von aus der SSF resultierenden Fraktionen bei den Betrieben der Altfahrzeugverwertungs- und Schredderkampagnen zusam-

men. Es liegen keine Primärdaten aus der Analytik darüber vor, welche Wertstoffkonzentrationen in den einzelnen Abfallfraktionen vorliegen. Daher können „ab hier" keine quantifizierten Aussagen über die Wertstoffgehalte der Outputfraktionen getroffen werden.

Tabelle 185: Abfallfraktionen aus der SSF und ihre Verbleibswege

Eigenbezeichnung der Fraktion durch den Betreiber	Bezeichnung ASN-Katalog (Zuordnung durch den Betreiber)	ASN (Zuordnung durch den Betreiber)	Verbleibsweg	Betreiber
SSF Überkorn	k. A.	k. A.	Mechanische Aufbereitung	2
VA-Restfraktion	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen	191006/ 191212	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung zum Teil im Ausland	2
VA-Restfraktion grob			Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung	2
Staubfraktionen	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	190113*	Entsorgung gefährlicher Abfall, Deponie	1
Stahlprodukte	Eisenmetalle	191202	Stahlwerke im In- u. Ausland	1
NE-Metallfraktion, legierter Stahl			Schmelzwerke im In- u. europäischen Ausland, Mechanische Aufbereitung im Ausland	1
Mischmetalle M1	Nichteisenmetalle	191203	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung zum Teil im Ausland	2
VA-Schrott			Schmelzwerk zum Teil Ausland	2
Messing			Schmelzwerk / Mechanische Aufbereitung zum Teil Ausland	2

Eigenbezeichnung der Fraktion durch den Betreiber	Bezeichnung ASN-Katalog (Zuordnung durch den Betreiber)	ASN (Zuordnung durch den Betreiber)	Verbleibsweg	Betreiber
Kupfer			Schmelzwerk / Mechanische Aufbereitung zum Teil Ausland	2
Mischmetalle M3/M4			Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung	2
Mischmetalle M1			Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung zum Teil im Ausland	2
Aluminium grob			Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung	2
Mischmetalle aus Handklaubung SSF			Mechanische Aufbereitung gemeinsam mit Eisenstaub und SSF Absieb	2
Kunststoffe	Kunststoff und Gummi	191204	Verkauf an kunststoffverarbeitende Industrie	1
Mineralik < 2 mm	Mineralien (z. B. Sand, Steine)	191209	Deponieersatzbaustoff	1
Ersatzbrennstoffe	brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	191210	Energetische Verwertung, Lieferung an EBS-Verwerter	1
Eisenstaub	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen	191212	Deponie	2
SSF Absieb			Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung	2
Leiterplatten			Metallseparation	2

Quelle: Altfahrzeugverwertungs-/ Schredderkampagne

Die Fraktionen der SSF werden überwiegend der „mechanischen Aufbereitung“ zugeführt. Darüber wie differenziert die mechanische Aufbereitung und die Rückgewinnung der in

den Fraktionen enthaltenen Metalle und Wertstoffe erfolgt, liegen keine Informationen vor. Schredderbetrieb 2 führt darüber hinaus die Fraktion „Eisenstaub“ (0,5 Gew% der SSF) der Beseitigung durch Deponierung zu (ASN 19 12 12); Schredderbetrieb 1 führt die Fraktion „Kunststoffe“ (ASN 19 12 04) der „kunststoffverarbeitenden Industrie“ zu.

Aus der in Tabelle 185 dargestellten Zuordnung von Outputfraktion zu ASN geht hervor, dass dieselbe ASN (z. B. ASN 19 12 03) für mehrere Outputfraktionen verwendet wird (z. B. für „Mischmetalle M1“, „Messing“ oder „Kupfer“). Des Weiteren wird deutlich, dass von der ASN nicht auf den Verbleib der jeweiligen Abfallfraktion geschlossen werden kann: Beispielsweise werden Fraktionen mit der ASN 19 12 12 („Eisenstaub“, SSF Absieb“ und „Leiterplatten“) unterschiedlichen Verwertungs- und Beseitigungswegen zugeführt („Deponie“, „mechanische Aufbereitung/Metallrückgewinnung“ sowie „Metallseparation“.

Die Schredderschwerfraktion besteht aus den Hauptfraktionen Glas, Mineralik, Kunststoffe und Elastomere sowie zu geringen Mengen aus Al, Fe und Cu (vgl. Tabelle 186). Im Rahmen der Analytik wurden darüber hinaus Antimon, Neodym und Tantal nachgewiesen sowie Blei, Kobalt und Zink und die Edelmetalle Gold, Palladium und Silber (vgl. Tabelle 183). Die stofflichen Hauptfraktionen des Feinanteils der SSF (< 2 mm) sind in Tabelle 186 aufgeführt. Demnach besteht die SSF überwiegend aus Glas, Mineralik, Kunststoffen und Elastomeren und enthält Spuren von Kupfer, Aluminium und Eisen.

Tabelle 186: Anteile der Feinfraktion SSF (< 2 mm) der Schredderkampagne

Hauptfraktionen	Massenanteile Schredder-betrieb 1 (Fraktion < 2 mm)	Massenanteile Schredder-betrieb 2 (Fraktion < 18 mm)
Glas	60,66 Gew%	30 Gew%
Kunststoffe und Elastomere	3,61 Gew%	22 Gew%
Mineralik	35,26 Gew%	47 Gew%
Cu	0,33 Gew%	1 Gew%
Al	0,07 Gew%	0 Gew%
Fe	0,06 Gew%	0 Gew%

Quelle: Analytik im Rahmen der Schredderkampagne

5.4.2.4 Schredderleichtfraktion

Die Schredderleichtfraktion ist ein Vielstoffgemisch, das überwiegend nicht-metallische Anteile enthält. Sie besteht überwiegend aus Kunststoffen und Elastomeren (73,9 Gew%) sowie Glas und Mineralik, Kupferdrähten, Aluminium und Eisen (vgl. Tabelle 187).

Im Rahmen einer Literaturrecherche wurde deutlich, dass es bislang kaum veröffentlichte aktuelle Daten (d. h. nicht älter als 5 Jahre) zur Zusammensetzung der SLF gibt, die aus Altfahrzeugen resultiert. Die Ergebnisse der Zusammensetzung der SLF wird nachfolgend zwei einschlägigen Versuchsergebnissen weiterer Altfahrzeug-Schredderkampagnen gegenübergestellt. Dabei unterscheidet sich der Differenzierungsgrad der untersuchten Materialen bzw. die hierzu veröffentlichten Ergebnissen der Kampagnen. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu verbessern, wurden Materialfraktionen in Anlehnung an die Materialkategorien der durchgeführten Schredderkampagne angepasst:

Tabelle 187: Vergleich der Anteile der SLF der Schredderkampagne mit anderen Studien

Material	Schredderbetrieb 1	Schredderbetrieb 2	Moakley et al. (2010)	Vermoesen (2015)
Kunststoffe und Elastomere	73,82 Gew%	73,98 Gew%	40-80 Gew%	78,38 Gew%
Glas	10,58 Gew%	4,32 Gew%	3-19 Gew%	5,21 Gew%
Nicht-Glas-Mineralik	10,91 Gew%	15,70 Gew%	10-43 Gew%	k.A.
Al	1,02 Gew%	0,83 Gew%	3 Gew% („Metalle“)	2,48 Gew%
Fe	0,89 Gew%	1,68 Gew%		2,65 Gew%
Sonstiges (Kupferdrähte)	2,79 Gew%	3,50 Gew%		n. a.

Aus der vergleichenden Übersicht wird deutlich, dass die Anteile der SLF der Schredderversuche innerhalb der Spannweiten der Ergebnisse der Untersuchungen von Moakly et al. (2010) und Vermoesen (2015) liegt.

Für die Mehrzahl der in den Outputfraktionen enthaltenen NE-Metalle sowie für einige weitere Wertstoffe (wie etwa Kunststoffe) liegen keine Primärdaten aus der Analytik der durchgeführten Schredderkampagnen vor.

Tantal und Yttrium werden überwiegend in Leiterplatten der Fahrzeugelektronik oder in Displays eingesetzt und werden überwiegend in die SLF ausgetragen. Kunststoffe, wie etwa PP, PE, ABS, PET oder PUR verbleiben ebenfalls überwiegend in der SLF und in geringeren Mengen in der SSF.

Die SLF wird durch verschiedene Sortier- und Aufbereitungsprozesse bei den im Projekt beteiligten Schredderbetrieben in nachfolgende Abfallfraktionen aufgeteilt:

Tabelle 188: Abfallfraktionen aus der SLF und ihr Verbleib (Quelle: AP 1)

Eigenbezeichnung der Fraktion durch den Betreiber	Bezeichnung ASN-Katalog (Zuordnung durch den Betreiber)	ASN (Zuordnung durch den Betreiber)	Verbleibsweg	Betreiber
Stahlprodukte	Eisenmetalle	191202	Stahlwerke im In- u. Ausland	1
NE-Metallfraktionen, legierter Stahl	Eisenmetalle	191202	Schmelzwerke im Inland u. europäischen Ausland, mechanische Aufbereitung im Ausland	1
Mineralik	Mineralien (z. B. Sand, Steine)	191209	Deponieersatzbaustoff	1
Staubfraktionen	Filterstaub, der gefährliche Stoffe enthält	190113*	Entsorgung gefährlicher Abfall, Deponierung	1
Kunststoffe	Kunststoff und Gummi	191204	Verkauf an kunststoffverarbeitende Industrie	1

Eigenbezeichnung der Fraktion durch den Betreiber	Bezeichnung ASN-Katalog (Zuordnung durch den Betreiber)	ASN (Zuordnung durch den Betreiber)	Verbleibsweg	Betreiber
Ersatzbrennstoffe	brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	191210	Energetische Verwertung, Lieferung an EBS-Verwerter	1
Filterstaub	sonstige Abfälle (einschließlich Materialmischungen) aus der mechanischen Behandlung von Abfällen mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 12 11 fallen	191212	Deponierung	2
SLF fein			Bergversatz, Deponieverwertung, Deponierung, Verbrennung	2
SLF grob			MVA, EBS-Aufbereitung	2
Mischmetalle aus SLF	Nichteisenmetalle	191203	Mechanische Aufbereitung /Metallrückgewinnung	2
Sorte 4 aus Überbandmagnet	Eisen- und Stahlabfälle	191001	Mechanische Nachbereitung	2

Die SLF wird durch den Schredderbetrieb 1 überwiegend der energetischen Verwertung zugeführt (62 Gew%) oder als Deponieersatzbaustoff verwendet (29 Gew%). Etwa 8 Gew% werden „Stahlwerken“ und „Schmelzwerken“ zugeführt und etwa 1 Gew% der „kunststoffverarbeitenden Industrie“. Etwa 0,1 Gew% werden durch Deponierung beseitigt („Staubfraktionen“).

Schredderbetrieb 2 führt 63 Gew% der SLF der energetischen Verwertung zu; etwa 37 Gew% werden der stofflichen Verwertung zugeführt (Bergversatz der Fraktion „SLF fein“ und mechanische Aufbereitung der Fraktion „Mischmetalle aus SLF“). Etwa 0,03 Gew% wird durch Deponierung beseitigt („Filterstaub“).

5.4.3 Ansatz zur Bewertung der Hochwertigkeit der Verwertung der Schredderoutputfraktionen

Für die Bewertung der Hochwertigkeit der aktuellen Verwertungspraxis der Schredderoutputfraktionen, die aus Restkarossen stammen, wurde ein mehrstufiges Kriterienset entwickelt. Das Kriterienset integriert drei Perspektiven:

- **Rechtliche Perspektive:** Betrachtung und Bewertung des Endverbleibs der Outputfraktionen aus der Perspektive der Abfallhierarchie gemäß AbfallRRL bzw. KrWG sowie des gesamtmassenbezogenen Quotenansatzes gemäß § 5 AltfahrzeugV.
- **Input/Output Perspektive:** Betrachtung und Bewertung der Rückgewinnungsquoten relevanter Wertstoffe auf Basis der Verwertungsprofile der eingesetzten Rückgewinnungs- und Verwertungstechniken. Hierfür werden verfügbare Daten aus der Literatur mit der tatsächlicher Verwertungspraxis verglichen.
- **Qualität der Outputfraktionen sowie Art der Sekundärnutzung/-nutzbarkeit der erzeugten Sekundärstoffe:** Betrachtung und Bewertung der Sortenreinheit

und Störstofffreiheit der resultierenden Sekundärwerkstoffe (insbesondere Stahllegierungen und Aluminiumlegierungen) sowie die Erfüllung von Anforderungen an Sekundärwerkstoffe auf Basis eines Abgleichs mit Werkstoffnormen und Gesprächen mit Schredderbetreibern). Anschließende Betrachtung und Bewertung der Art der Sekundärnutzung der Outputfraktionen.

5.4.3.1 Bewertung aus rechtlicher Perspektive

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz[38] (KrWG), das die Europäische Abfallrahmenrichtlinie in nationales Recht umsetzt, definiert in § 8 KrWG die Rangfolge von Entsorgungsmaßnahmen. Im vorliegenden Abschnitt erfolgt die Bewertung der Hochwertigkeit der Verwertung der Schredderoutputfraktionen zunächst auf Basis der Rangfolge der Abfallhierarchie (vgl. § 6 KrWG). Gemäß § 6 KrWG i. V. m. den entsprechenden Begriffsbestimmungen nach § 3 Abs. 23, 25, 26 und 27 sowie i. V. m. Anlage 1 und Anlage 2 KrWG sind lediglich die Stufen 3 „Recycling“, 4 „sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung“ und 5 „Beseitigung“ für die in Kapitel 5.3.3 aufgeführten Schredderoutputfraktionen von Bedeutung. Dabei umfassen Verwertungsfahren gemäß § 3 Abs. 23 i. V. m. Anlage 2 insbesondere

- Hauptverwendung als Brennstoff oder als anderes Mittel der Energieerzeugung (R 1)
- Rückgewinnung und Regenerierung von Lösemitteln (R 2)
- Recycling und Rückgewinnung organischer Stoffe, die nicht als Lösemittel verwendet werden (R 3)
- Recycling und Rückgewinnung von Metallen und Metallverbindungen (R 4)
- Recycling und Rückgewinnung von anderen organischen Stoffen (R 5)
- Regenerierung von Säuren und Basen (R 6)
- Wiedergewinnung von Bestandteilen, die der Bekämpfung von Verunreinigungen dienen (R 7)
- Wiedergewinnung von Katalysatorbestandteilen (R 8) sowie
- Erneute Ölraffination oder andere Wiederverwendungen von Öl (R 9)
- Verwendung von Abfällen, die bei einem der in R 1 bis R 10 aufgeführten Verfahren gewonnen werden
- Austausch von Abfällen, um sie einem der in R 1 bis R 11 aufgeführten Verfahren zu unterziehen (R 12)
- Lagerung von Abfällen bis zur Anwendung eines der in R 1 bis R 12 aufgeführten Verfahren (ausgenommen zeitweilige Lagerung bis zur Sammlung auf dem Gelände der Entstehung der Abfälle).

Die Legaldefinitionen gemäß AltfahrzeugV sind nachfolgend dargelegt:

Recycling: Der Begriff „Recycling“ wird in der AltfahrzeugV nicht aufgeführt, sondern der Begriff „stoffliche Verwertung“. Die stoffliche Verwertung umfasst gemäß § 3 Abs. 10 AltfahrzeugV die Wiederaufbereitung von Abfallmaterialien für ihren ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke (Nutzung der stofflichen Eigenschaften, rohstoffliche Verwertung), jedoch mit Ausnahme der energetischen Verwertung.

[38] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 4. April 2016 (BGBl. I S. 569)

Sonstige Verwertung, insbesondere energetischer Verwertung und Verfüllung: Die sonstige Verwertung ist in der AltfahrzeugV nicht gesondert definiert. Gemäß § 3 Abs. 23 KrWG umfasst sie die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.

Beseitigung: Gemäß § 2 Abs. 1 Punkt 12 i. V. m. § 3 Abs. 26 KrWG umfasst die Beseitigung jedes Verfahren, das keine Verwertung ist, auch wenn das Verfahren zur Nebenfolge hat, dass Stoffe oder Energie zurückgewonnen werden. Verfahren zur Beseitigung sind gemäß Anlage 1 KrWG beispielsweise

- Ablagerungen in oder auf dem Boden (zum Bespiel durch Deponierung) (D 1)
- Behandlung im Boden (D 2) oder
- Verpressung in Hohlräumen (D 3).

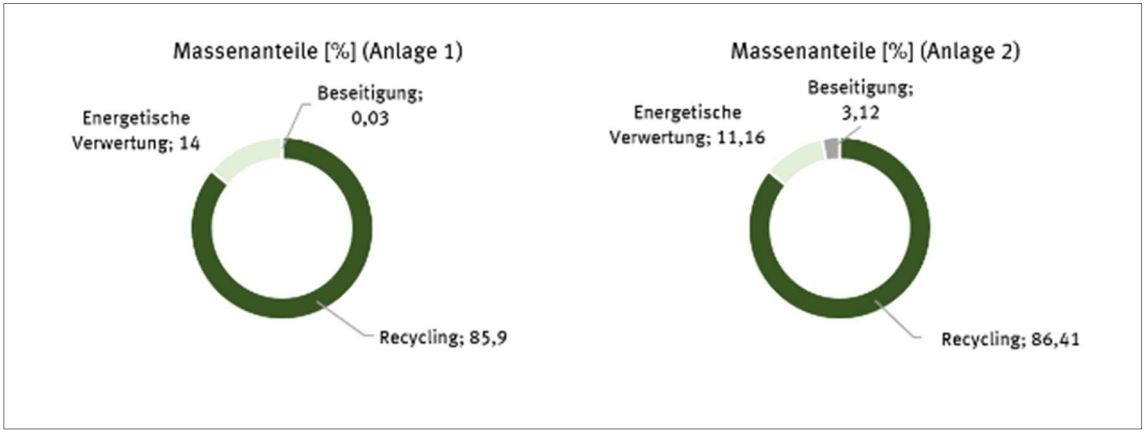
Nach § 6 Abs. 2 KrWG soll dabei diejenige Maßnahme den Vorrang haben, „die den Schutz von Mensch und Umwelt […] unter Berücksichtigung des Vorsorge- und Nachhaltigkeitsprinzips am besten gewährleistet“. Für die Betrachtung der Auswirkungen auf Mensch und Umwelt sind dabei insbesondere zu berücksichtigen:

- Die zu erwartenden Emissionen
- Das Maß der Schonung der natürlichen Ressourcen
- Die einzusetzende oder zu gewinnende Energie sowie
- Die Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen, in Abfällen zur Verwertung oder in daraus gewonnen Erzeugnissen.

Ergänzend zu diesen Kriterien soll eine Berücksichtigung der technischen Möglichkeit, der wirtschaftlichen Zumutbarkeit und der „sozialen Folgen“ erfolgen. Eine Operationalisierung der genannten Kriterien existiert bislang jedoch nicht, obgleich in § 8 Abs. 2 Satz 2 KrWG eine Verordnungsermächtigung für die Festlegung von Anforderungen an die Hochwertigkeit der Verwertung angelegt ist. Dementsprechend ist auch für die in Anlage 2 KrWG aufgeführten Verwertungsverfahren noch keine Rangfolge definiert, welches Verfahren den Vorrang haben sollte. Lediglich an die Verwendung von Abfällen als Brennstoff oder als anderes Mittel der Energieerzeugung werden Anforderungen an die Energieeffizienz gestellt. Aufgrund der fehlenden Ausdifferenzierung und Definition, wie beispielsweise „das Maß der Schonung der natürlichen Ressourcen“ zu bestimmen ist, liefert die rechtliche Rahmensetzung nur ein Instrumentarium, mit dem die Betrachtung und Bewertung der Verwertungspraxis der Schredderoutputfraktionen lediglich eingeschränkt erfolgen kann – und zwar auf Basis der grundsätzlichen Rangfolge der Maßnahmen gemäß Abfallhierarchie. Eine weiterführende Relativierung und Bewertung erfolgt aus der bestehenden rechtlichen Perspektive hingegen nicht.

Für die Betrachtung der Verwertungspraxis aus der Perspektive der Abfallhierarchie sind in Abbildung 113 die Verbleibswege der Schredderoutputfraktionen der Schredderkampagne auf Basis der o. g. Verbleibskategorien gemäß § 6 KrWG dargestellt:

Abbildung 113: Verbleibswege der Schredderoutputfraktionen gemäß Kategorisierung der Entsorgungswege nach KrWG



Quelle: eigene Berechnung und Darstellung

Die Schredderoutputfraktionen werden durch beide Betriebe, die bei der Schredderkampagne beteiligt waren, zu über 85 Gew% der stofflichen Verwertung zugeführt. Etwa 13 Gew% werden der energetischen Verwertung zugeführt; etwa 1,7 Gew% der Beseitigung.

Dieses Ergebnis, d. h. die Verteilung der Massenanteile über die drei Verbleibswege stoffliche Verwertung, energetische Verwertung sowie Beseitigung, entspricht grundsätzlich der Priorisierung der Verbleibswege der Abfallhierarchie. Die prozentuale Verteilung des Schredderoutputs (also der Restkarossen) über die Verbleibswege entspricht darüber hinaus den Recycling- und Verwertungsquoten für Altfahrzeuge gemäß § 5 AltfahrzeugV. Es wurde der Hinweis gegeben, dass sich das Ergebnis bzw. die Anteile der Verbleibswege zukünftig verschieben könnten, wenn sich die Zusammensetzung der Altfahrzeuge ändert.

5.4.3.2 Bewertung aus der Input/Output Perspektive

Das zweite Kriterium anhand dessen ein weiterer Aspekt der Hochwertigkeit der Verwertung der Schredderoutputfraktionen bewertet wurde, betrifft die Rückgewinnung der in den Restkarossen enthaltenen Wertstoffe. Hierfür wurde betrachtet,

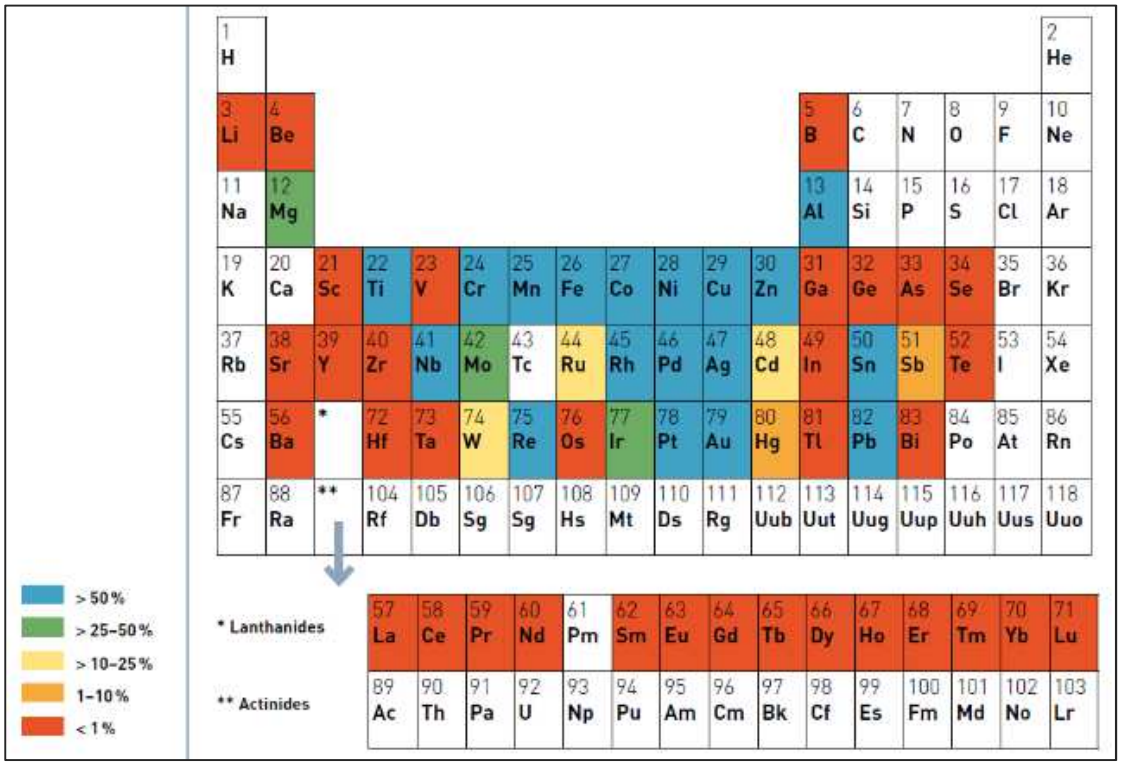
- ob die enthaltenen Wertstoffe durch die aktuellen Verwertungstechniken grundsätzlich wiedergewonnen werden können und
- wenn dies der Fall ist, ob die Rückgewinnung dieser Wertstoffe aus den Schredderoutputfraktionen mit Restkarossen im Input tatsächlich erfolgt.

In der Fachliteratur werden mehrere Arten und Kennzahlen der „Rückgewinnungseffizienz“ unterschieden, wie etwa funktionelle vs. nicht-funktionelle Rückgewinnung, Recycling-Prozess-Effizienz oder das Verhältnis von verwertetem Massenanteil zum beseitigten Massenanteil (vgl. UNEP 2011, S. 15f.; Reck 2014, S. 310).

Für die Input-Output Perspektive in diesem Abschnitt erfolgt die Betrachtung der funktionellen Rückgewinnungsrate in Anlehnung an UNEP (2011). Dabei wurde betrachtet, wie hoch der Massenanteil der Wertstoffe ist, deren ursprüngliche chemische und physikalische Eigenschaften für eine weitere Nutzung im Rahmen der stofflichen Verwertung erhalten bleiben. Nach Reck (2014, S. 312) ist die funktionelle Rückgewinnungsrate der wichtigste „Recyclingindikator“ zur Beurteilung der Ressourceneffizienz, da sie Auskunft über das Substitutionspotenzial von Primärmetallen gibt.

In Abbildung 114 sind die funktionellen Rückgewinnungsraten nach UNEP (2011) dargestellt. Dabei sind die Rückgewinnungsraten als Spannweiten globaler Durchschnittswerte für die Jahre 2000-2005 aufgeführt. Durch die Angabe von Spannweiten wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die Rückgewinnungsraten in Abhängigkeit der Anwendungsfelder (i. S. der Produktgruppe) der betrachteten Metalle, der Anwendungsart (als Haupt- oder als Legierungsbestandteile) sowie der Rückgewinnungs-Effizienz variieren (vgl. UNEP 2011, S. 18).

Abbildung 114: Funktionale Rückgewinnungsraten unterschiedlicher Metalle



Quelle: UNEP 2011, S. 19, Abb. 4

Die aufgeführten Rückgewinnungsraten werden in Tabelle 189 nachfolgend auf die zu Beginn dieses Kapitels als relevant klassifizierten Metalle (vgl. Abbildung 112) bezogen. Diejenigen Wertstoffe, die im Rahmen der Altfahrzeugverwertung als Fraktion oder als Legierungselemente zurückgewonnen werden, sind grün hinterlegt.

Tabelle 189: Rückgewinnungsraten metallischer Wertstoffe: Globale Durchschnittswerte; grün dargestellt: rückgewonnene Metalle aus Altfahrzeugen

> 50 Gew%	< 25-50 Gew%	< 10-25 Gew%	1-10 Gew%	< 1 Gew%
Aluminium	Magnesium		Antimon	Europium
Chrom	Molybdän			Praseodym
Eisen	Nickel			Tantal
Kupfer				Terbium
Palladium				Cer
Platin				Vanadium
Rhodium				Indium

> 50 Gew%	< 25-50 Gew%	< 10-25 Gew%	1-10 Gew%	< 1 Gew%
Zink				Lanthan
Gold				
Silber				
Zinn				

Aus dem Schredder-Output werden Chrom, Nickel und Molybdän im Rahmen der Edelstahl-Separation als Legierungsbestandteile separiert (Chrom-Nickel-Molybdän-Stähle und Chrom-Nickel-Stähle). Die Separation erfolgt teilweise vor Ort, teilweise in nachgelagerten Aufbereitungsverfahren.

Aluminium wird als Aluminium-Fraktion separiert (sowohl Guss- als auch Knetlegierungen). Diese enthält ggf. auch Magnesium; Zink wird überwiegend aus der SSF als Legierungsbestandteil von Messing separiert.

Die Separation von Gold, Silber und Zinn und den aufgeführten Seltenerdmetallen erfolgt ggf. nachgelagert, wenn differenzierte Post-Schredder-Technologien angewandt werden. Nach Reck (2014, S. 311) verbleiben diese andernfalls in thermometallurgischen Prozessen in der Metallphase oder in Schlacken bzw. in Feststoffen aus der Abluftreinigung oder werden in energetischen Verwertungsprozessen in Stoffmatrices integriert.

Die Platingruppenmetalle Palladium, Platin und Rhodium sind überwiegend in Katalysatoren enthalten und werden im Rahmen des Rückgewinnungspfads Demontage – Katalysatoraufbereitung zurückgewonnen. Aufgrund der hohen Erlöse für Katalysatoren sind diese Metalle daher nicht im Restkarossen-Input der Schredder enthalten. Die Rückgewinnung der PGM erfolgt in thermometallurgischen Prozessen mit hohen Rückgewinnungsraten. Eine Rückgewinnung von Seltenerdmetallen aus Katalysatoren erfolgt derzeit nicht (ReStra 2016).

In der aktuellen Altfahrzeugverwertung werden somit 12 der insgesamt 23 als relevant klassifizierten Metalle weitestgehend einem funktionellen Recycling zugeführt (Eisen, Kupfer, Aluminium, Platin, Rhodium, Zink, Magnesium, Molybdän, Nickel, Palladium, Platin und Rhodium).

In der Sonderuntersuchung der Anhaftungen der Fe-Fraktion wurden Gehalt von 60 mg/kg Co, 71 mg/kg Nd und von 45 mg/kg Ag festgestellt (zu den Gesamtfrachten siehe Abbildung 103 bis Abbildung 112).

Kunststoffe werden teilweise vor dem Schreddern separiert (insbesondere Stoßstangen) und der kunststoffverarbeitenden Industrie zugeführt. Eine separate Rückgewinnung der Thermoplaste ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol), PA (Polyamide), PET (Polyethylenterephthalat), PP (Polypropylen) und PUR (Polyurethane) sowie der eingesetzten Elastomere erfolgt jedoch überwiegend nicht. Glas wird ebenfalls nicht für ein funktionelles Recycling zurückgewonnen.

5.4.3.3 Bewertung der Hochwertigkeit auf Basis der Reinheit der Fraktionen und ihrer Sekundärnutzung

In den nachfolgenden Abschnitten wird die Hochwertigkeit der derzeitigen Verwertungspfade der Behandlungsfraktionen betrachtet. Dies umfasst die Frage nach möglichen Materialverlusten oder Kontaminationen in der Verwertungskette.

Berücksichtigt wurde die funktionelle Rückgewinnungsrate der Schredderoutput-Fraktionen in Anlehnung an Graedel eta al. (2011). Dabei wurde betrachtet, wie hoch der Massenanteil der Wertstoffe ist, deren ursprünglichen chemischen und physikalischen Eigenschaften für eine weitere Nutzung im Rahmen der stofflichen Verwertung erhalten bleiben.

Nach Reck (2014) ist die funktionelle Rückgewinnungsrate der wichtigste Recyclingindikator zur Beurteilung der Ressourceneffizienz, da sie Auskunft über das Substitutionspotenzial von Primärmetallen gibt.

Daneben wurde die Frage betrachtet, für welche Art der Sekundärnutzung die erzeugten Outputfraktionen geeignet sind. Hinsichtlich der Sekundärnutzung wird unterschieden, ob diese spezifisch oder unspezifisch erfolgt. Bei der spezifischen Sekundärnutzung werden die spezifischen Eigenschaften der Werkstoffe genutzt – wie etwa Leitfähigkeit, Korrosions- und Festigkeitseigenschaften – oder andere Materialeigenschaften, durch die eine bestimmte Fertigungstechnik ermöglicht wird. Diese werden auch durch Aspekte wie Sortenreinheit bzw. Grad von Verunreinigungen sowie deren nachträglicher Separierbarkeit bestimmt, siehe hierzu z.B. das Metallrad der metallurgischen Beziehungen der Recyclingrouten [29]. Die unspezifische Sekundärnutzung umfasst insbesondere die Nutzung des Volumens oder des Energiegehalts.

Eisen/Stahl/Schredderschrott

Verluste

Die Verwertung von Eisen ist derzeit auf der Stahlroute üblicherweise in Elektrostahlwerken für eine Verwendung der spezifischen Eigenschaften von Stahl realisiert. Ein (begrenzter) Verlust von Stahl z.B. über den Austrag in der Schredderleichtfraktion ohne anschließende Separation oder über die Kupferroute als Teil von Kupferwicklungen (z.B. in Motoren) wirkt sich in einer gesamtökologischen Betrachtung der Altfahrzeugentsorgung aufgrund des geringen spezifischen GWP-Wertes nur gering aus.

Kontamination

Fremdstoffe wie z.B. Kupfer, Nickel, Molybdän, Palladium werden im Stahl gelöst und im Stahlprodukt ausgetragen. Relevant in Bezug auf die Kreislaufführung von Stahl kann sich insbesondere ein zunehmender Kupfergehalt im Stahlschrott bzw. Stahl negativ auswirken, da er dessen Verwendungsmöglichkeiten einschränken kann. Der überwiegende Anteil des Schredderschrotts wird daher zu Baustählen recycelt und nicht z.B. zu (Tiefzieh-)Blechen. Derzeit bestehen ausreichend Absatzmöglichkeiten für entsprechende Stahlqualitäten. Allwood (2016) sieht jedoch auch die Möglichkeit einer zukünftigen negativen Beeinflussung des Stahlkreislaufs durch Störelemente. Eine Verringerung des Kupfergehaltes erfolgt üblicherweise bereits im Rahmen der Behandlung von Schredderoutputströmen. Durch Einschlüsse von Kupfer in Stahlteilen, nicht getrennte Verbindungen von Kupfer und Eisen sowie die Kontamination durch sehr feine Kupfer-Bestandteile (z.B. Litzen) sind einer umfassenden Separation Grenzen gesetzt.

Der Kupferanteils im Schredderschrott kann bis zu über 0,3 Prozent betragen. In den durchgeführten Altfahrzeugverwertungs- und Schredderversuchen wurden Kupfergehalte zwischen 0,15 Prozent und 0,7 Gew.% festgestellt.

Ergänzend kann eine Demontage von kupferhaltigen Komponenten vor dem Schredder erfolgen (z.B. Kabelbaum, Elektronik). Burnand (2014) stellt anhand der Auswertung von

Schredderversuchen dar, dass sich durch intensive Demontage der Kupfergehalt im Eisen-Schredderschrott von 0,22 Gew.% auf 0,1 Gew.% halbieren lässt.

Edelstahl und deren Legierungselemente Chrom, Nickel, Molybdän – Verluste

Eine Nutzung der in einigen Stählen enthaltenen Legierungsbestandteile kann nur dann erfolgen, wenn Stähle mit erhöhten Gehalten solcher Legierungen separiert werden, um diese anschließend zur Auflegierung zu nutzen. Die Separation von legierten Stählen, beispielsweise austenitischen Edelstählen wie Chrom-Nickel-Molybdän-Edelstählen und Chrom-Nickel-Stählen aus dem Schredderoutput erfolgt bereits üblicherweise.

Aluminium

Aluminiumwerkstoffe können eine separate Outputfraktion aus dem Schredderprozess bzw. nachgeordneten Separationsschritten darstellen. Eine weiterführende Sortierung der Aluminiumwerkstoffe in Aluminiumguss- und Aluminiumknetlegierungen erfolgt üblicherweise großtechnisch nicht. Fremdstoffe wie z. B. Au, Pd oder Cr werden über das Aluminiumprodukt aus dem Prozess ausgetragen.

Die Legierungen werden gemeinsam zu Sekundäraluminium umgeschmolzen (JRC 2014), das anschließend als Gusslegierung genutzt wird. Die duktilen Eigenschaften der Knetlegierung, die die Kaltumformung des Werkstoffs ermöglichen, gehen durch die Vermischung der Legierungsbestandteile verloren (Modaresi & Müller 2016). Fremdstoffe, wie z. B. Zinn, Kupfer oder Gold verbleiben im Aluminium (UNEP 2013).

Das Massenverhältnis von Guss- und Knetlegierungen im Altfahrzeug beträgt etwa 80 Gew% Gusslegierung und 20 Gew% Knetlegierung (vgl. Wallau 1998). Nach UNEP (2013) wurden in PKWs im Jahr 2002 98,8 kg Aluminiumwerkstoffe je Fahrzeug eingesetzt, während im Jahr 2006 bereits 117,6 kg pro Fahrzeug eingesetzt wurden (vorrangig im Motor und Fahrwerk sowie in Rädern). Auf Basis dieser Informationen kann angenommen werden, dass durchschnittlich etwa 20 kg Aluminiumknetlegierung pro Altfahrzeug in den Schredderoutputfraktionen enthalten sind. Es liegen keine Informationen aus der Schredderkampagne vor, wie hoch der Massenanteil des Aluminiums ist, der tatsächlich separiert wird. Legt man ein theoretisches Potenzial von 100 % zugrunde, werden pro Altfahrzeug 20 kg Aluminiumknetlegierung zu Gusslegierung weiterverarbeitet. Das entspräche bei einer Anzahl von 522.000 verwerteten Altfahrzeugen in Deutschland (Sander et al. 2017c) einer Masse von etwa 10.400 t.

Grundsätzlich besteht die technische Möglichkeit, Gusslegierungen und Knetlegierungen zu trennen, obgleich die Verfahren noch nicht großtechnisch etabliert sind. Beispielsweise ermöglicht die Anlage der Firma Hydro eine Separierung von Aluminium-Gusslegierungen mit hohem Kupfer-, Zink-, und Zinnanteilen sowie die Separierung von Fremdmetallen. Darüber hinaus können Aluminium-Schrotte getrennt werden mit einem geringen Kupfer-Anteil haben (0,05- 0,20 %) von Aluminium-Schrotten mit einem hohen Kupferanteil werden (3,8 % - 4,9 %) (Kurth & Kurth 2014, S. 16). Während dieses Verfahren vorrangig auf bestimmten Zerkleinerungsprozessen und der Erkennung der Legierungsbestandteile durch Röntgentransmission beruht, sind weitere Trennverfahren insbesondere thermomechanische Verfahren, die chemische Oberflächenbehandlung mit anschließender Farbsortierung, die Neutronenaktivierungsanalyse, die Röntgenfluoreszenzanalyse sowie die Laser- Emissionsspektrometrie (Aydin 2010).

Modaresi und Müller (2012) analysieren den Verbleib von Aluminiumschrotten und kommen zu dem Schluss, dass bei Beibehaltung der derzeitigen Strategie des downcycling und der Verdünnung beim Aluminiumrecycling die Aufnahmekapazitäten des aktuellen

Haupftverbleibspfades (der Automobilindustrie) erschöpft ist. Als wesentlicher Ansatz zur Optimierung der Situation wird die Verbesserung der Aluminiumschrottqualität durch Aluminiumsortierung dargestellt.

Lovik et al. (2014) entwickelten ein dynamisches Massenflussmodells für Aluminium unter anderem aus Autos, das bis auf Komponenten- und Legierungsebene differenziert ist. Auf dieser Grundlage stellen sie fest, dass die Demontage von Aluminiumkomponenten aus Autos eine effektive und weitgehend unterschätze Maßnahme darstellt, das Recycling von Aluminium und von Legierungsbestandteilen zu optimieren.

Kupfer

Das in Altfahrzeugen enthaltene Kupfer kommt in hoher Reinheit vor, um dessen Leitfähigkeit als funktionale Eigenschaft zu nutzen (Kabel). Im Rahmen der Analytik (siehe Kapitel 3) wurde Kupfer in allen Hauptfraktionen nachgewiesen (Fe-Fraktion, SSF und SLF). In der Fe-Fraktion stellt Kupfer ein Störelement dar, dass die spezifischen Eigenschaften des Stahls beeinflusst. Eine Kontamination von 0,1 Gew.% Kupfer in der Stahlfraktion kann zu einem Verlust in der Größenordnung von 10 Gew.% des Kupfergehaltes führen

Über die Reinheit der Kupferfraktionen, die der Kupferhütte zugeführt werden, liegen keine Daten vor. Da es sich bei Kupfer um ein edles Metall handelt, bestehen sehr gute Möglichkeiten der Abtrennung von Fremdstoffen und der Gewinnung hochreinen Metalls auch aus heterogenem Input (Thermometallurgie, Elektrolyse siehe auch BAT Referenzdokument JRC (2014)).

Edelmetalle wie z. B. Gold und Silber sowie weitere Metalle, die über Kupfer als Trägermaterial in der Thermometallurgie gesammelt werden und/oder die über den Abgaspfad in einen weiter zu behandelnde Fraktion ausgetragen werden, werden zu einem hohen Grad zurückgewonnen (UNEP 2013), wenn sie in den Kupferprozess eingebracht werden.

Edelmetalle

Sofern eine Separation der edelmetallhaltigen Fraktionen (z.B. Leiterplatten) erfolgt, werden die Edelmetalle sowie weiteren Metalle, die über Kupfer als Trägermaterial in der Pyrometallurgie gesammelt werden und/oder die über den Abgaspfad in einen weiter zu behandelnde Fraktion ausgetragen werden, zu einem hohen Grad in der Kupferrückgewinnung mit zurückgewonnen (Reuter et al. 2013).

Jedoch erfolgt diese Separation derzeit nur in Ausnahmefällen, wenn differenzierte Post-Schredder-Technologien angewandt werden, und dann auch nur teilweise. Denn die Prozesse des Schredderns und der nachgelagerten Aufbereitungsschritte führen zu einer starken Zerstörung von Leiterplatten. Die Versuche im Rahmen der Elektroaltgeräteentsorgung (Chancerel 2010, Schöps et al. 2010) stufen eine solche Zerstörung als wesentliche Ursache von Edelmetallverlusten bei der Aufbereitung von Altgeräten ein. Durch nicht-angepasste Zerkleinerungsprozesse könnten Verlustraten für Gold von bis zu 75 Gew% entstehen.

Ein Bild von Leiterplatten aus Altfahrzeugen nach der Aufbereitung in komplexer Post-Schredder-Technik zeigte Schmidt, Zur Lage (2014) (siehe Abbildung 115).

Abbildung 115: Leiterplatten aus Altfahrzeugen nach Schreddern und PST



Quelle: Schmidt Zur Lage (2014)

Die chemische Analytik (siehe Kapitel 2) zeigte Goldgehalt in der SLF-Fraktion unterhalb der Nachweisgrenze. Die Massenbilanz der Altfahrzeugverwertungsversuche der EMPA (Wäger 2014) lokalisierte im Unterschied dazu 90 % des Au-Verbleibs in der SLF. Ob unterschiedliche Anteile von Leiterplatten und Kontakten (als Hauptanwendungsbereichen von Gold) in den analysierten Proben die Ursache der unterschiedlichen Ergebnisse sind, ist unklar. Möglicherweise wurde die Goldmenge in der SLF auch so verdünnt, dass ein Nachweis nicht gelang.

Die Analysen der Anhaftungen der Fe-Fraktion ergaben Silberkonzentrationen von 45 mg/kg in der Abwaschung der Anhaftungen. Zu den Frachten pro Jahr siehe die Abbildung 103 bis Abbildung 112.

Eine Separation von edelmetallhaltigen Komponenten durch Demontage vor dem Schredder ist technisch möglich und in einigen Fällen auch rentabel, wenn entsprechende Demontagekonzepte realisiert sind (Kohlmeyer et al. 2015).

Tantal, Gallium

Für Tantal und Gallium aus Altfahrzeugen stehen derzeit keine Separationsprozesse zur Verfügung, die eine ausreichend hohe Konzentration der Elemente erreichen, ohne gleichzeitig zu relevanten Verlusten anderer Metalle zuführen – z. B. Verluste von Gold und Silber bei der Aufbereitung von Leiterplatten zur Gewinnung von Tantal-Kondensatoren (Sander et al. 2018).

Antimon

Antimon wird in einigen integrierten Kupferhütten z. B. aus Leiterplatten zurückgewonnen (Sander et al. 2018). Wesentliche Verluste entstehen durch antimonhaltige Fraktionen wie z. B. Leiterplatten, die den entsprechenden Anlagen nicht zugeführt werden sowie durch flammgeschützte Kunststoffe.

Platingruppen-Metalle Platin, Palladium, Rhodium (PGM)

Die Separation von Katalysatoren, die die weit überwiegende Menge von PGM enthalten, (vor dem Schreddern) und die Rückgewinnung der PGM erfolgt bereits zu einem sehr hohen Grad aufgrund ökonomischer Treiber.

Die Rückgewinnungsprozesse der Platingruppenmetalle Rhodium, Palladium und Platin vor allem aus dem Katalysator führen dazu, dass diese Elemente am Ende der Prozessketten wieder in sehr hoher Reinheit vorliegen und zu ihrem ursprünglichen Zweck verwendet werden können.

Seltenerdmetalle (Cer, Lanthan, Neodym, Dysprosium)

Seltenerdmetalle, die mit den Katalysatoren in den Prozess eingetragen werden (z. B. Lanthan, Cer) werden derzeit großtechnisch nicht zurückgewonnen (Sander et al. 2018). Wesentliches Hemmnis sind die Kosten der Rückgewinnung im Vergleich zum niedrigen Preis von Primärrohstoffen.

Eine Separation von neodym- und dysprosiumhaltigen Seltenerdmagneten ist vor dem Schreddern der Altfahrzeuge durch Demontage möglich. Erfolgt dies nicht, werden die Seltenen Erden über verschiedene Fraktionen dispersiert, vorwiegend über Anhaftungen am Eisen. Die Analysen der Anhaftungen der Fe-Fraktion ergaben Werte von 71 mg/kg in der Abwaschung der Anhaftungen. Zu den Gesamtfrachten pro Jahr siehe Abbildung 103 bis Abbildung 111.

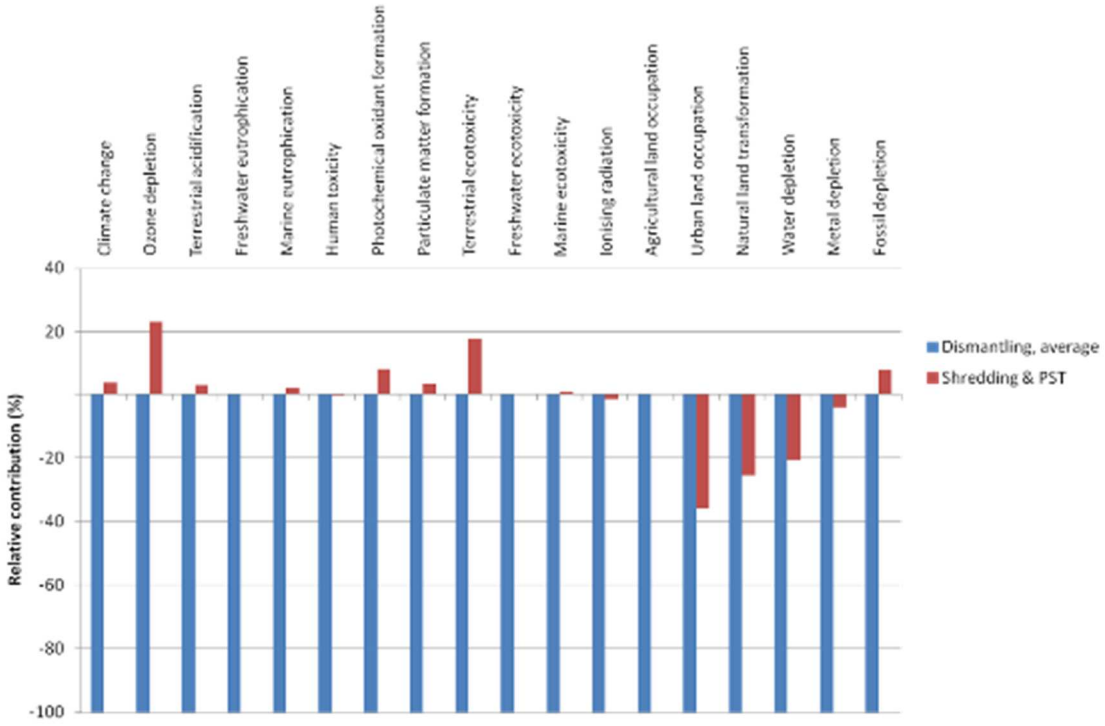
Die Demontage vor dem Schreddern ist derzeit nicht wirtschaftlich, könnte es jedoch nach Kohlmeyer et al. (2015) werden, wenn entsprechende Vermarktungsmöglichkeiten entstehen und die Magnete identifizierbar sind. Rückgewinnungsverfahren stehen derzeit in Europa großtechnisch noch nicht zur Verfügung, sind jedoch auf der Schwelle zur verstärkten Umsetzung (Sander et al. 2018).

Glas

Wird Glas aus Altfahrzeugen vor dem Schreddern separiert, kann es nach Auskunft von Glasverwertern wieder z. B. zu Flachglas verwertet werden. Hierdurch würden Rohstoffe substituiert, die höhere ökologische Lasten tragen als Rohstoffe, die dann substituiert würden, wenn von dem Glas nur das Volumen genutzt würde – z. B. Substitution von Kies. Aus dem Schredderoutput kann Fahrzeugglas derzeit nicht für ein funktionelles Recycling zurückgewonnen, sondern lediglich als Füllmaterial genutzt werden.

Wille (2013) belegt die ökologische Vorteilhaftigkeit des Recyclings von Autoglas zu Flachglas inkl. des Recyclings von Polyvinylbutyral (PVB) im Vergleich zur Nutzung als mineralischer Füllstoff nach Schreddern und Post-Schredder-Technik (siehe Abbildung 116).

Abbildung 116: Vergleich der relativen Umweltauswirkungen zwischen der Demontage und der Post-Schredder-Separation von Fahrzeugglas (pro t)



Quelle: Wille 2013

Tabelle 190: Vergleich der absoluten Umweltauswirkungen zwischen der Demontage und der Post-Schredder-Separation von Fahrzeugglas (pro t)

Wirkungskategorie	Route 1: Schredder	Route 2: Demontage	Einheit
Klimaveränderung	10	-280	kg CO2 $_{eq}$
Ozonschädigung	0,0000013	-0,000006	kg CFC-11 $_{eq}$
Terrestrische Versauerung	0,024	-0,85	kg SO2 $_{eq}$
Frischwassereutrophierung	-0,00011	-0,049	kg P $_{eq}$
Meereseutrophierung	0,00095	-0,048	kg N $_{eq}$
Humantoxizität	-0,14	-50	kg 1,4-DB $_{eq}$
Photochemisch Oxidationsmittel Formation	0,028	-0,36	kg NMVOC
Feinstaub Bildung	0,008	-0,23	kg PM10 $_{eq}$
Terrestrisch Ökotoxizität	0,0021	-0,012	kg 1,4-DB $_{eq}$
Frischewasserökotoxizität	-0,0016	-1,2	kg 1,4-DB $_{eq}$
Marine Ökotoxizität	0,007	-0,91	kg 1,4-DB $_{eq}$
Ionisierend Strahlung	-0,5	-31	kg U235 $_{eq}$
Landwirtschaftlich Land Besetzung	-0,35	-9,4	m^2/a
Städtisches Land Besetzung	-0,019	-0,96	m^2/a
Natürliches Land Transformation	-0,0034	-0,013	m^2
Wasserverbrauch	-1,3	-6,3	m^3

Wirkungskategorie	Route 1: Schredder	Route 2: Demontage	Einheit
Metallverbrauch	-0,37	-9	kg Fe_{eq}
Fossil depletion	3,4	-46	kg oil eq

Quelle: Wille 2013

Insgesamt weist Wille (2013) auch auf die mögliche Einordnung der eingesparten Umweltentlastungen durch Recycling als Flachglas in einen Alltagskontext hin:

> „Despite the fact that dismantling of glass generates a net environmental benefit, even in the best case scenario (scenario 1) the environmental benefits that can be expected from glass dismantling and recycling are relatively small. The treatment of automotive glass according to scenario 1 yields the same average CO2 reduction per ELV (6,4 kg) as a reduction in personal car use of 27 km.“ (Wille 2013).

Für Autoglas besteht eine Markt für den Einsatz in der Flachglasproduktion, die Qualitätsanforderungen als Inputmaterial in der Flachglasindustrie können durch die entsprechende Vorbehandlung (fachmännische Demontage der Scheiben und Aufbereitung des Altglases) eingehalten werden (pers. Kom. Hr. Kremers, Rhenus Recycling GmbH).

Die Erlöse aus dem Verkauf des demontierten Autoglases decken die Demontagekosten nicht. Wille (2013, S. 53) nennt 178 €/t Glas bis 180 €/t Glas als Demontagekosten je nach Durchsatz der Demontagebetriebe.

Kunststoffe

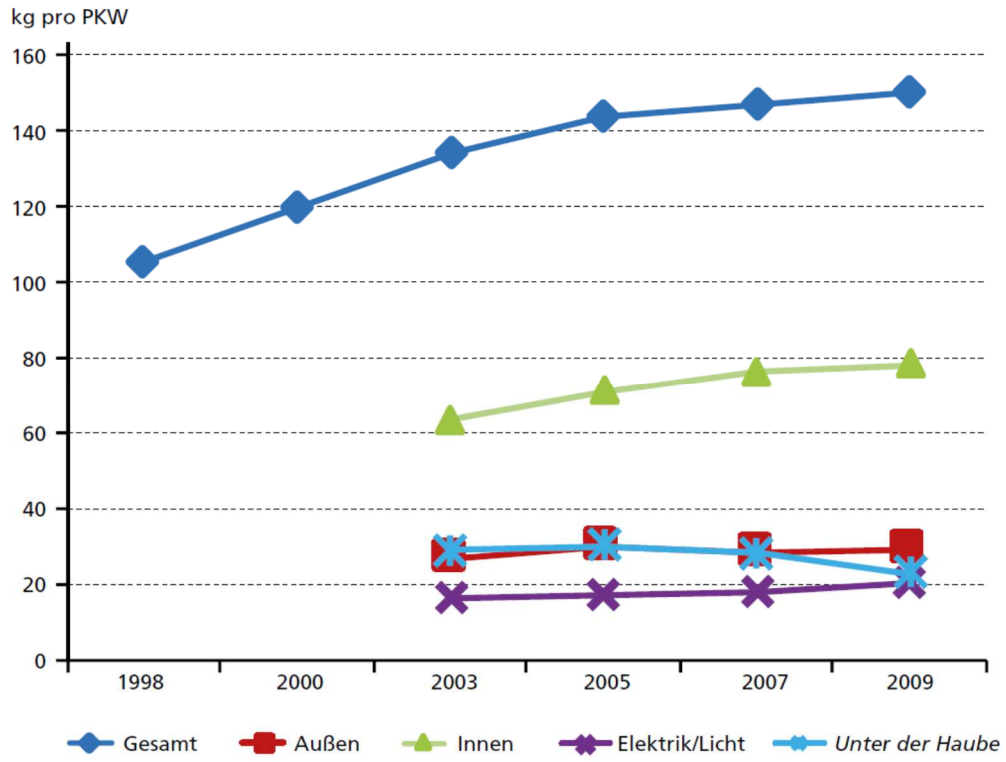
Kunststoffe werden nur in geringem Umfang vor dem Schreddern separiert (insbesondere Stoßfänger) und der kunststoffverarbeitenden Industrie zugeführt = funktionelles Recycling. Nach dem Schreddern dominiert die energetische Verwertung der kunststoffhaltigen Fraktionen, bei der nur der chemische Energiegehalt in den Kunststoffen genutzt wird und der Energieaufwand für die Produktion verloren geht.

In geringem Umfang werden die Kunststoffe im Output des Schredders durch eine fortschrittliche Post-Schredder-Technik weiter separiert. Üblicherweise wird hierbei jedoch keine Qualität erreicht, die eine Verwendung erlaubt, die der ursprünglichen vergleichbar ist.

Die ökologische Bewertung zeigte für verschiedene Kunststoffteile aus dem Altfahrzeug eine positive Bewertung des werkstofflichen Recyclings, vergleiche z. B. Jenseits (2003). Besser als andere Entsorgungsoptionen schneidet die werkstoffliche Verwertung in der Regel dann ab, wenn sie zu hochwertigen Sekundärrohstoffen führt und im Zuge dessen ein hoher Substitutionsfaktor (= substituierte Primärkunststoffmenge/Rezyklatmenge) von nahezu 1 erreicht wird. Dies ist nur möglich, wenn Kunststoffabfälle sauber und sortenrein zur Verfügung stehen, z. B. durch getrennte Erfassung. Die ökologische Vorteilhaftigkeit der werkstofflichen Verwertung steigt außerdem mit der Größe der demontierten Teile (Jenseits 2003).

Weiterhin sind bei der Frage der Kreislaufführung Schadstoffbelastungen der Kunststoffe zu berücksichtigen. Ein Teil der Kunststoffkomponenten insbesondere im Fahrzeuginnenraum, wo etwa die Hälfte der Kunststoffe eingesetzt werden (siehe Abbildung 117) kann mit Flammschutzmitteln versetzt sein, überwiegend bromierten. Eine Schadstoffverschleppung im Recyclingkreislauf ist hier zu vermeiden.

Abbildung 117: Entwicklung der Kunststoffmassen in PKW

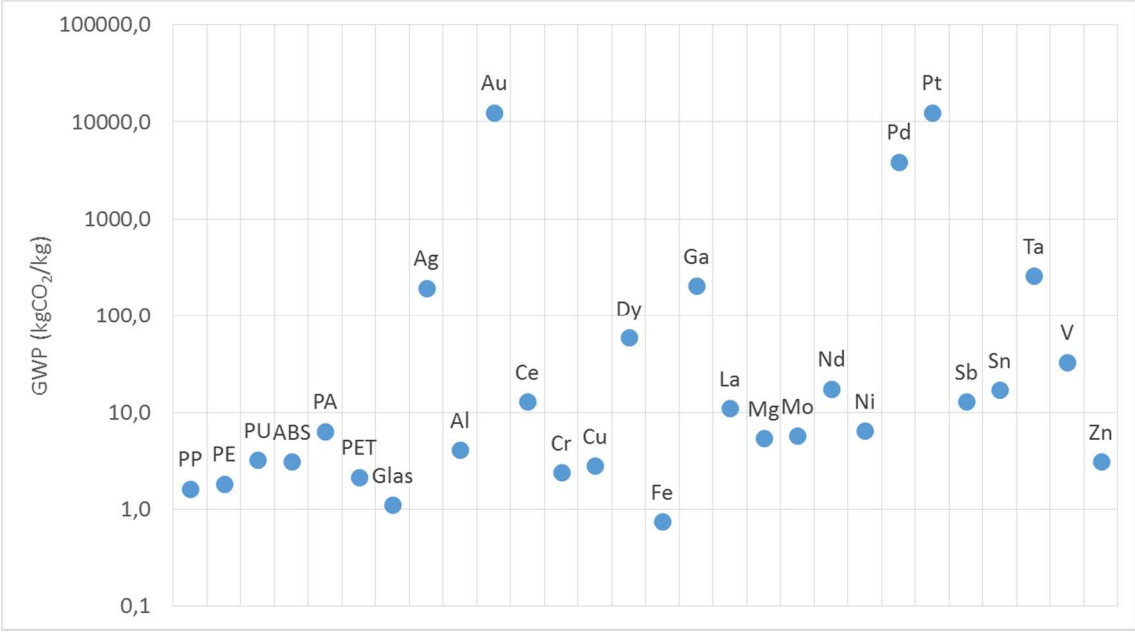


Quelle: Schlotter (o.J.)

5.5 Ökologische Relevanz der enthaltenen Wertstoffe

Das folgende Kapitel gibt eine Übersicht über die ökologische Relevanz der eingesetzten Wertstoffe in Fahrzeugen als weitere Basis zur Entwicklung von Empfehlungen. Hierfür wird auf den ökobilanziellen Summenparameter „Global Warming Potential“ (GWP in kg CO_2) fokussiert. Dafür wurden Daten über das Treibhauspotenzial der Herstellung der jeweiligen Materialien (Metalle, Kunststoffe, Glas) recherchiert.

Abbildung 118: Spezifisches GWP verschiedener Materialien

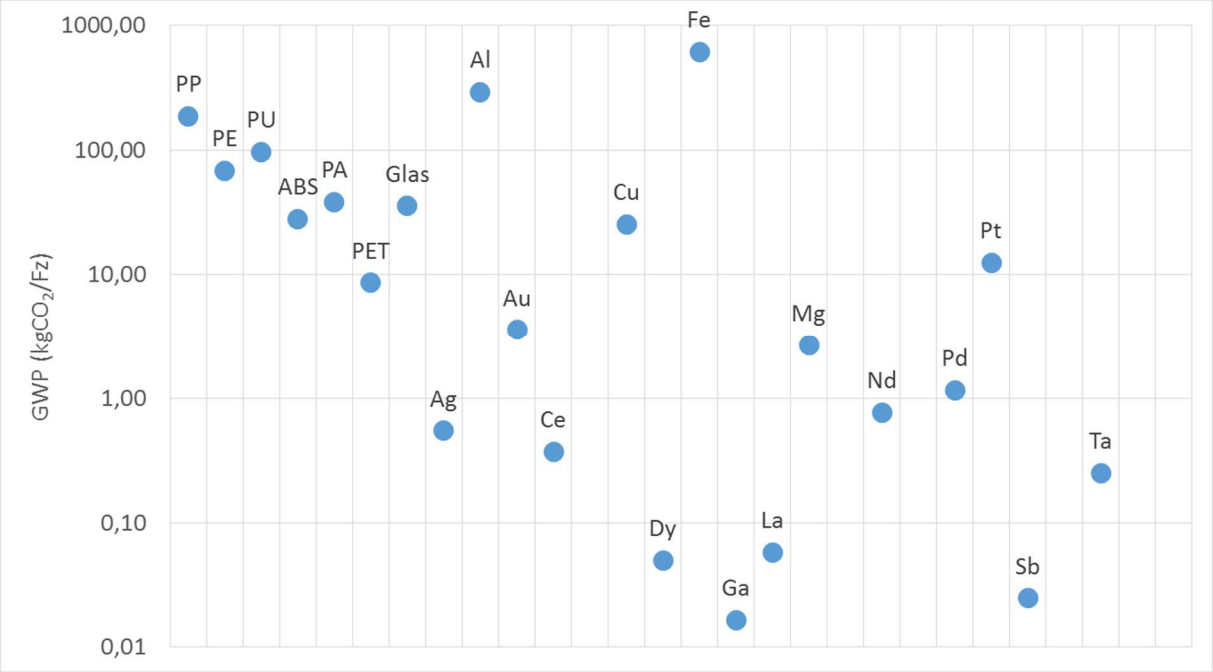


Datengrundlagen: Nuss 2014, PlasticsEurope 2016

Das Diagramm zeigt die sehr deutlichen Unterschiede der betrachteten Kunststoffe und Metalle hinsichtlich ihres GWP (logarithmische Teilung der Y-Achse). Beispielsweise ist das GWP von Pt um den Faktor 16.600 größer als das GWP von Fe und das GWP von Au ist um das 7.700-fache größer als das GWP von PP. Im Kontext der vorliegenden Studie bedeutet dies, dass sehr geringe Verluste z. B. von Edelmetallen teilweise ökologisch bereits bedeutsamer sein können, als größere Masseverluste bei Kunststoffen oder Eisen.

Für die Analyse der Altfahrzeugverwertung sind die Einsatzmengen der Materialien pro Fahrzeug zu betrachten. Daher zeigt die folgende Grafik die GWP verschiedener Materialien je Fahrzeug. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Zusammensetzung von PKW handelt es sich bei einer solchen Darstellung von Durchschnittswerten nur um eine grobe Orientierungsdarstellung. Unter Berücksichtigung der Einsatzmenge ergibt sich eine deutliche Schwerpunktverschiebung gegenüber den Ergebnissen der spezifischen GWP-Werte. Mit Ausnahme von Eisen, Kupfer und Aluminium ist das Treibhauspotenzial der eingesetzten Metalle bei der Betrachtung pro Fahrzeug deutlich niedriger als das jeweilige GWP der eingesetzten Kunststoffe PP, PU, PA, PE und ABS.

Abbildung 119: GWP verschiedener Materialien je PKW



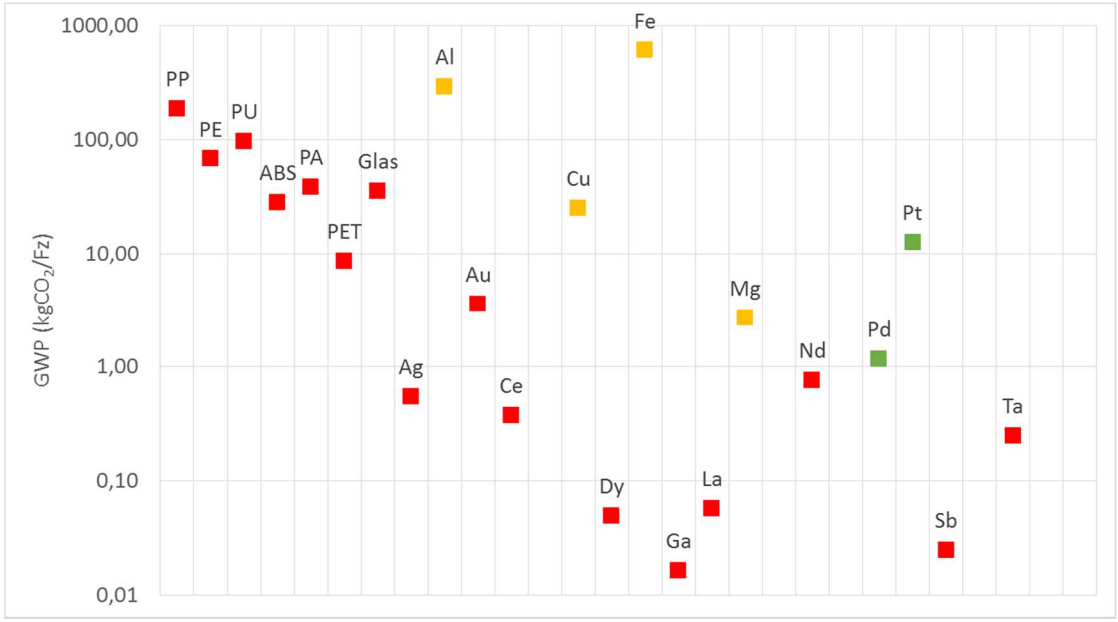
Datengrundlage: Nuss 2014, PlasticsEurope 2016, UNEP 2013, Schmid 2015, Culbrand 2012; Angaben soweit Daten über die Menge pro Fahrzeug verfügbar waren

5.6 Defizite der aktuellen Verwertungspraxis

Aus der Analyse der aktuell praktizierten Behandlung und Verwertung von Altfahrzeugen (siehe Kapitel 5.2, 5.3 und 5.4) wurden verschiedene, bislang nicht erschlossene Potenziale sichtbar, deren Erschließung zu einer (höherwertigen) Sekundärnutzung verschiedener in den Altfahrzeugen enthaltenen Wertstoffe führen kann. Hierzu wurde die Hochwertigkeit der derzeitigen Verwertungspfade der Behandlungsfraktionen betrachtet (siehe Kapitel 5.4.3).

Abbildung 120 führt die Ergebnisse der Bewertung der Entsorgungspraxis mit der ökologischen Relevanz der in den Altfahrzeugen enthaltenen Wertstoffen (siehe Kapitel 5.5) zusammen.

Abbildung 120: GWP verschiedener Materialien je PKW und Bewertung möglicher Schwachstellen in Bezug auf die Hochwertigkeit der Verwertung



Datengrundlage: Nuss 2014, PlasticsEurope 2016, UNEP 2013, Schmid 2015, Culbrand 2012, Angaben soweit Daten über die Menge pro Fahrzeug verfügbar waren

Große Schwachstellen und damit besonders große Verbesserungspotenziale in Richtung Hochwertigkeit liegen bei den in Fahrzeugen enthaltenen Kunststoffen, und zwar für alle betrachteten Kunststoffsorten. Gleiches gilt auch für das Fahrzeugglas. Damit sollte ihnen bei der Suche nach Optimierungsansätzen für die Verwertungspraxis eine mindestens ebenso große Rolle zukommen wie beispielsweise den Edel- und Sondermetallen. Im Bereich der Massenmetalle Eisen, Kupfer und Aluminium liegen mittelgroße Verbesserungspotenziale, die aufgrund der ökologischen Mengenrelevanz dieser Metalle auch besser erschlossen werden sollten. Auffällig ist zudem die hohe Relevanz von Neodym, das zwischen Gold und Silber liegt und mit der zukünftigen Zunahme im Altfahrzeugbereich (Groke et al. 2015) weiter an Relevanz gewinnen wird

5.7 Ansätze zur Optimierung der aktuellen Verwertungspraxis

Die nachfolgend skizzierten Ansätze adressieren die dargelegten Schwachstellen der derzeitigen Verwertungspraxis und zielen auf ihre Optimierung durch die Ausgestaltung und Nutzung verbesserter Verwertungspfade. Sie adressieren insbesondere die als relevant identifizierten Wertstoffe: Kunststoffe und Glas, Massenmetalle Eisen, Aluminium und Kupfer sowie Edelmetalle.

5.7.1 Operationalisierung einer „hochwertigen Verwertung“

§ 8 Abs. 2 Satz 2 KrWG enthält eine Verordnungsermächtigung für die Festlegung von Anforderungen an die Hochwertigkeit der Verwertung für bestimmte Abfallarten. Hierdurch ist die Möglichkeit einer rechtlichen Operationalisierung einer hochwertigen Verwertung grundsätzlich vorgesehen. Eine Konkretisierung dieses Hochwertigkeitsgebots oder ein entsprechender Verordnungsentwurf sind bislang jedoch nicht erarbeitet worden. Das Fehlen einer entsprechenden Begriffsbestimmung wird u. a. auch durch die Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung e. V. kritisiert (ASA) (vgl. ASA Mai 2016). ASA betont in einer Stellungnahme zum Referentenentwurf eines zweiten Gesetzes zur Änderung des KrWG (Stand: 3. Mai 2016), dass für eine „effiziente Kreislaufwirtschaft [...] verbindliche Kriterien zur Beschreibung der Hochwertigkeit von Verwertungsverfahren (sowohl stofflich als auch energetisch) inklusive zugehöriger Qualitätsanforderungen an den Sekundärroh- und Brennstoff [...] unabdingbar“ seien (ASA Mai 2016).

Die Operationalisierung der Hochwertigkeit im Rahmen einer Verordnungsermächtigung könnte anhand von Kriterien definiert werden, die sich u. a. auf ökobilanziellen Untersuchungen stützen (vgl. auch Versteyl 2012, S. 2010). Als Grundlage für eine technisch-wissenschaftliche Bewertungsmethode könnte Blatt 1 der VDI Richtlinie 3925„Methoden zur Bewertung von Abfallbehandlungsverfahren“ als Grundlage herangezogen werden.

Des Weiteren scheint eine differenzierte Evaluierung des aktuellen Stands der Technik entlang der in Anlage 3 KrWG aufgeführten „Kriterien zur Bestimmung des Standes der Technik“ zielführend, insbesondere in Bezug auf aktuell eingesetzte oder einsetzbare Postschreddertechniken. Aktuell werden zwar verschiedene Verfahren diskutiert, wie etwa das WESA-SLF-Verfahren, das 1-Verfahren, das SRTl-Verfahren, VW-Sicon-Verfahren, das Gallo- oder das Sult-Verfahren (vgl. u. a. Duwe & Goldmann 2012; GHK & Bio 2006; Schmid & Zur-Lage 2014). Eine auf Basis der genannten Kriterien systematisierte Bewertung, beispielsweise in der Form eines BVT-Merkblatts, gibt es aktuell jedoch nicht und sollte entsprechend durchgeführt werden.

Bei der Behandlung dieses Themas ist zu berücksichtigen, dass es sich um ein sehr komplexes Geflecht von Betrachtungsebenen handelt und die Zielformulierung teilweise wenig dezidiert ist und/oder für sehr viele unterschiedliche Abfallarten und eine sehr große Vielfalt von Entsorgungswegen Relevanz hat. Bereits vor mehr als 20 Jahren hat die Niedersächsische Regierungskommission in einem Arbeitskreis „Hochwertigkeit“ (AK 21) den Versuch einer Operationalisierung unternommen, es wurde jedoch kein entsprechendes Ergebnis erarbeitet. Es wurde lediglich festgestellt, dass bei der Beurteilung der Hochwertigkeit

> „die Beantwortung der Frage, auf welcher Veredelungsstufe der Abfall wieder eingesetzt wird eine besondere Aussagekraft [hat]. Je nach Höhe der Veredelungsstufe des substituierten Stoffes entfallen in entsprechendem Umfang die mit der Herstellung dieses Stoffes verbundenen Umweltbelastungen sowie die Material- und Energieeinsätze“ (AK 21 der Niedersächsischen Regierungskommission 1997).

Eine Bearbeitung des Themas „Hochwertigkeit“ entsprechend § 8 Abs. 2 Satz 2 KrWG muss also als mittel- bis langfristiger Prozess gesehen werden. Es sollte geprüft werden, ob für die Zwischenzeit andere Maßnahmen ergriffen werden können, die kurzfristiger zu realisieren sind (siehe folgende Empfehlungen).

5.7.2 Weiterführende Anforderungen an die Demontage

Der Anhang der AltfahrzeugV enthält, basierend auf einer entsprechenden Vorgabe in Anhang I der EG-Altfahrzeug-Richtlinie, in Nummer 3.2.3.3 Demontageverpflichtungen für bestimmte Wertstoffkomponenten zum Zweck der Wiederverwendung oder stofflichen Verwertung. Aus der Schwachstellenanalyse (siehe 5.4.3) geht hervor, dass vor dem Schreddern entnommene wertstoffhaltige Komponenten höherwertige (im Sinne einer stärkeren Nutzung spezifischer Materialeigenschaften), verlustärmere bzw. kontaminationsärmere Verwertungsmöglichkeiten eröffnen. Daher sollte geprüft werden, wie die Vorgaben für eine Demontage oder Separation für entsprechende relevante Fraktionen und Wertstoffe sowohl erweitert als auch spezifiziert werden können.

5.7.2.1 Kupferhaltige Komponenten

Eine Demontagepflicht für kupferhaltige Bauteile sieht die AltfahrzeugV bereits vor, jedoch nur, wenn das Kupfer nicht beim oder nach dem Schreddern getrennt wird. Die Schwachstellenanalyse zeigte die Notwendigkeit die Demontageanforderungen auszubauen.

Das in Fahrzeugen enthaltene Kupfer befindet sich überwiegend im Hauptkabelstrang und in Motoren. Von Zitzewitz (2002, S. 15, Tab. 2) verweist auf entsprechende Daten von Ford, aus denen hervorgeht, dass im Kabelstrang etwa 60 Gew% des im Fahrzeug eingesetzten Kupfers enthalten sind. Der restliche Kupferanteil verteilt sich auf weitere Komponenten, insbesondere auf den Motor der Lüftung und den Motor der Heizung. Während eine Separation der großen Elektromotoren nach dem Schreddern effektiv möglich ist, ist die Separation von zunehmend feineren und weiter verteilten Kabellitzen nur mit erheblichem Aufwand realiserbar.

Daher sollte überlegt werden, mindestens für den Hauptkabelstrang die Kupferdemontagepflicht absolut zu formulieren und keine Alternativoption zur Trennung beim oder nach dem Schreddern mehr zu eröffnen.

Burnand (2014) zeigt, dass der Kupfergehalt in der Fe-Fraktion durch eine Demontage von kupferhaltigen Komponenten erheblich reduziert werden kann. Kitagawa (2011, S. 38) weist darauf hin, dass in Japan im Rahmen der Verwertungsoption „Whole Vehicle Utilization“[39] eine Reduktion des Kupfergehalts auf 0,3 Gew% eine Anforderung an Demontagebetriebe sei (vgl. auch Optimat 2013, S. 16).[40] Zur Erreichung dieses Maximalgehalts sei eine Separation des Hauptkabelstrangs erforderlich (vgl. Optimat 2013, S. 68).[41] Für die Prüfung der Frage, ob es sich bei dieser Angabe zum Rest-Kupfergehalt um eine rechtliche Anforderung handelt oder eine Bedingung der nachgelagerten Schmelzöfen, sind jedoch weiterführende Recherchen erforderlich.

[39] Im Rahmen dieser Verwertungsoption wird die gesamte ungeschredderte und entfrachtete Restkarosse Schmelzöfen der Sekundärstahlerzeugung zugeführt.

[40] Trotz intensiver Recherche konnte keine englische Übersetzung des japanischen Rechtstextes ausfindig gemacht werden. Daher konnte eine Überprüfung dieser Aussage bislang nicht erfolgen.

[41] Eine Übersicht von Handlungsempfehlungen zur Reduktion der Demontagezeiten für Kupferkabelstränge aus Altfahrzeugen zeigen Gaudillat et al. (2016, S. 248 f.)

Gyllenram und Westerberg (2016) zeigen die positiven ökonomischen Vorteile einer niedrigen und sicher eingehaltenen Kupferkonzentration im Produktionsprozess in Elektrostahlwerken auf.

Daher sollte aus gutachterlicher Sicht mindestens für den Hauptkabelstrang die Kupfer-Demontagepflicht absolut formuliert werden und keine Alternativoption zur Trennung beim oder nach dem Schreddern mehr eröffnet werden.

5.7.2.2 Elektronische Komponenten

Für elektronische Bauteile besteht bislang keine Demontagepflicht; sie verbleiben überwiegend in der Restkarosse. Die enthaltenen Edel- und Sondermetalle verbleiben nach dem Schredder in verschiedenen Abfallfraktionen, insbesondere in den Postschredderoutputfraktionen der SLF (vgl. auch Widmer et al. 2015).

Durch eine gezielte Separation relevanter Komponenten der Fahrzeugelektronik aus Altfahrzeugen vor dem Schreddern ist es möglich, die Rückgewinnung insbesondere der enthaltenen Edelmetalle und damit wertvoller Ressourcen zu verbessern. Die Bundesregierung formulierte daher in ihrem Ressourceneffizienzprogramm ProgRess II (BMUB 2016) als eines der kreislaufwirtschaftlichen Ziele die möglichst weitgehende Demontage der Fahrzeugelektronik pro Altfahrzeug bis 2020.

Durch eine Demontage der elektronischen Steuerungsgeräte kann die Dispersion der Metalle über die Outputfraktionen vermieden und ihre Separierbarkeit und Rückgewinnbarkeit begünstigt werden.

Dies motiviert derzeit Überlegungen, durch welche Impulse die Erreichung dieses Ziels gestärkt werden kann. Für ein wirksames Mittel halten die Autoren die Etablierung einer Demontagepflicht für Fahrzeugelektronik aus Altfahrzeugen. Sie könnte absolut oder relativ formuliert werden. Um den Demontagebetrieben die nötige Flexibilität zu erhalten, sollten jedoch keine konkreten Bauteile mit einer Demontagepflicht versehen werden, eine Aufzählung typischer adressierter Komponenten, analog zur Beispielaufzählung für große Kunststoffbauteile in Nr. 3.2.3.3 des Anhangs der Altfahrzeugverordnung, ist jedoch möglich.

Es wird empfohlen, eine harmonisierte Vorgehensweise auf europäischer Eben zu erreichen, d. h. nach Möglichkeit entsprechende Anforderungen in die Altfahrzeugrichtlinie aufzunehmen. Möglich wäre jedoch auch die Realisierung auf nationaler Ebene. In diesem Fall müsste jedoch eine Regelung gefunden werden, die die eventuell höheren Kosten bei der Demontage ausgleicht, um eine Verlagerung der Demontage von Altfahrzeugen in andere EU-Mitgliedstaaten zu verhindern.

In der Folge einer Demontagepflicht wären hierfür nach § 9 Abs. 2 der AltfahrzeugV bzw. Art. 8 (3) der EG-Altfahrzeug-Richtlinie entsprechende Demontageinformationen durch die Hersteller, z.B. in IDIS, bereitzustellen.

Groke et al. (2015) zeigten, basierend auf dem Verhältnis von Komponentenerlös zu Demontageaufwand, für 8 von etwa 40 Komponenten der Fahrzeugelektronik, dass bereits unter heutigen Bedingungen eine Separation und stoffliche Verwertung wirtschaftlich möglich ist:

- Motoren: Heizungsgebläse und Lichtmaschine,
- Steuergeräte: Motor-, Getriebe- und Fahrtsteuerung, Inverter (Hybridfahrzeug) und Start-Stopp-Steuerung,
- Sensoren: Sauerstoffsensor (Lambdasonde).

Für 9 weitere Elektronikkomponenten war eine ökonomisch begründete Demontage wegen der Varianz der Separationszeiten nur für einen Teil der untersuchten Fälle möglich.

5.7.2.3 Kunststoffe

Die Bewertung der Entsorgungspraxis ergab die ökologische Vorteilhaftigkeit der Gewinnung sauberer und sortenreiner Kunststofffraktionen, um eine hochwertige werkstoffliche Verwertung zu ermöglichen, während kunststoffhaltige Fraktionen nach dem Schreddern in den meisten Fällen energetisch und damit unspezifischer verwertet werden.

Daher werden Impulse zur Stärkung der hochwertigen werkstofflichen Verwertung aus Altfahrzeugen für sinnvoll gehalten. Ökonomische Treiber fehlen in diesem Bereich. Bei den Überlegungen zur Weiterentwicklung der Demontagevorgaben für Kunststoffe sind die jeweiligen Verwendungsbereiche der Kunststoffe in den Fahrzeugen (z.B. Interieur, Exterieur), die eingesetzten Kunststoffsorten und die Anwendungsbereiche der Sekundärkunststoffe zu berücksichtigen. Eine Ausschleusung schadstoffhaltiger, flammschutzmittel- bzw. POP-haltiger Kunststoffteile, aus dem Recyclingkreislauf ist anzustreben.

Das Umweltbundesamt (2016) fordert beispielsweise die konsequente Demontage großer Kunststoffteile, alternativ eine Vorgabe zur Separation von 20 kg Kunststoffen pro Altfahrzeug mit Zuführung zu einer werkstofflichen Verwertung.

5.7.2.4 Prüfung der Ausnahmegenehmigungen für Demontagepflichten gemäß Anhang AltfahrzeugV Nr. 5

Nach Nr. 3.2.3.3 des Anhangs der AltfahrzeugV müssen Demontagebetriebe Glas aus dem Altfahrzeug entfernen und vorrangig einer Wiederverwendung oder stofflichen Verwertung zuführen.

Die empirische Erhebung im Rahmen der Demontageversuche sowie die Ergebnisse der Befragung weiterer Demontagebetriebe haben gezeigt, dass Fahrzeugglas und große Kunststoffteile nicht von allen Betrieben gleichermaßen separiert werden, obwohl nach Anhang AltfahrzeugV eine Demontagepflicht besteht. In der Praxis verfügen Demontagebetriebe oftmals über entsprechende Ausnahmegenehmigungen. Die Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) hat sich bereits im Jahr 2005 darauf verständigt, dass Glas nicht zwingend ausgebaut werden muss. Die Rechtsgrundlage hierfür stellt Anhang AltfahrzeugV Nr. 5 dar. Demnach sind Abweichungen von den Anforderungen an die Demontage von Bauteilen und Komponenten zulässig,

> „wenn der Nachweis erbracht wird, dass durch andere geeignete Maßnahmen das Wohl der Allgemeinheit – gemessen an den Anforderungen dieser Verordnung – nicht beeinträchtigt wird. Über die Zulässigkeit von Abweichungen entscheidet die zuständige Behörde auf Antrag im Hinblick auf die Erteilung der Bescheinigung nach § 5 Abs. 3“.

Das Wohl der Allgemeinheit wird an dieser Stelle als Schutzziel genannt. Es liegen jedoch keine öffentlich verfügbaren Informationen darüber vor, unter welchen Bedingungen die entsprechenden Genehmigungen tatsächlich erteilt werden. Des weiteren gibt es keine Daten darüber, ob ein Ausbau von Glas-, Front-, Heck- und Seitenscheiben sowie von großen Kunststoffteilen aus dem Altfahrzeug vor dem Schredder aus Sicht des KrWG einer nachgelagerten Separation aus dem Schredderoutput von Kunststoff- und Glasteilchen zu bevorzugen ist. Für Kunststoffteile kann angenommen werden, dass durch die Demontage eine sortenreine Verwertung begünstigt wird und entsprechend höherwertigere Regranulate bzw. Regenerate erzeugt werden können, da eine Vermischung unterschiedlicher Kunststoffsorten vermieden und der Gehalt an Fremdstoffen minimiert werden können.

Bislang kann die Angemessenheit der Ausnahmegenehmigungen jedoch nicht objektiv beurteilt werden. Für eine objektivierte und transparente Bewertungs- und Entscheidungsgrundlage wäre eine vergleichende ökobilanzielle Analyse zielführend.

Aus zwei Gründen sollte die Separation und Verwertung von Fahrzeugglas zukünftig ausgeweitet werden:

- Ökologisch vorteilhafte Verwertungsoptionen: Generell ermöglicht eine vorab separierte Autoglasfraktion eine hochwertigere Fahrzeugglasverwertung (siehe Kapitel 5.4.3.3).
- Betriebliche Demontagequote: Seit dem 1.1.2015 gelten erhöhte Verwertungsquoten für Altfahrzeuge nach der AltfahrzeugV. Für die betrieblichen Quoten bedeutet dies: Während die Demontagebetriebe weiterhin eine Quote von zehn Prozent Recycling im nichtmetallischen Bereich erreichen müssen, stieg die Quote für die Schredderanlagen von fünf Prozent Verwertung auf fünf Prozent Recycling und zusätzlich zehn Prozent Verwertung der nichtmetallischen Schredderrückstände. Erreicht ein Demontagebetrieb die zehn Prozent-Recyclingquote nicht alleine, besteht die Möglichkeit einer vertikalen Kooperation mit Schredderanlagen, die Mengengutschriften für in den Schredderbetrieben gewonnene und recycelte Wertstofffraktionen an die Demontagebetriebe weitergeben können. Durch die erhöhten anspruchsvollen betrieblichen Quoten für die Schredderanlagen vermindern sich jedoch die Spielräume für diese vertikale Kooperation (Kohlmeyer 2015).

Daher wird vorgeschlagen, eventuell erteilte Ausnahmen von der Pflicht zum Glasausbau kritisch zu überprüfen.

5.7.2.5 Separationspflicht für Aluminiumknetlegierungen

In der aktuellen Altfahrzeugverwertungspraxis unterliegen insbesondere Aluminiumknetlegierungen einem Qualitätsverlust bzw. Downcycling (vgl. Kapitel 5.4.3.3). Nach Angaben von Herstellern von Post-Schredder-Separationsanlagen ist es technisch bereits möglich, Aluminiumsorten zu trennen.

Vor diesem Hintergrund ist eine entsprechende Separationspflicht für Betreiber von Schredderanlagen in Bezug auf Aluminiumknetlegierungen zu formulieren.

5.7.2.6 Begrenzung des Metallgehalts derjenigen Fraktionen, die in die Verfüllung gehen, energetisch verwertet oder beseitigt werden

Die Ergebnisse der empirische Erhebung der Verbleibswege der SLF haben gezeigt, dass eine funktionelle Rückgewinnung der in den Outputfraktionen enthaltenen Wertstoffe überwiegend nicht erfolgt. Typische Entsorgungswege für die Schredderleichtfraktion sind die energetische Verwertung bzw. Verbrennung, der Bergversatz, die Nutzung als Deponiebaustoff oder die Deponierung. Eine Begrenzung der enthaltenen Wertstoffe scheint entsprechend sinnvoll.

Eine möglicher Maximalmetallgehalt für Schredderrückstände, die verfüllt, energetisch verwertet oder beseitigt werden, sollte anspruchsvoll sein, um möglichst viele Metalle als Sekundärrohstoffe wiederzugewinnen, und sich an den technischen Möglichkeiten orientieren. Eine Entfrachtung der Schredderleichtfraktion auf unter ein Prozent Metallgehalt mittels Post-Schredder-Separation (vergleiche z. B. Tabel et al. 2011) wird mindestens für machbar gehalten.

Einen solchen Ansatz verfolgt beispielsweise die Schweiz: Art. 21 „Leichtfraktion aus der Zerkleinerung metallhaltiger Abfälle“ der Schweizer Abfallverordnung“[42] sieht die Separation des Metallanteils aus der SLF vor:

> „Aus der leichtesten Fraktion, die bei der Zerkleinerung von metallhaltigen Abfällen entsteht (Leichtfraktion), sind Metallstücke zu entfernen und stofflich zu verwerten.“

Die Herausforderungen für die Vollzugsfähigkeit dieses Gebots bestehen hinsichtlich einer eindeutigen Begriffsbestimmung in Bezug auf die SLF. Vor dem Hintergrund der Tatsache, dass es „die“ Schredderleichtfraktion üblicherweise als Schredderoutputfraktion nicht mehr gibt, sondern durch verschiedene Aufbereitungsverfahren der Postschreddertechnik auf eine Vielzahl von Outputfraktionen aufgeteilt wird, ist eine eindeutige Identifizierung des Stoffstroms bzw. der Stoffströme der SLF kaum mehr möglich. Anstatt Anforderungen an die Zusammensetzung der SLF zu formulieren, könnten jedoch Höchstgrenzen für die Metallgehalte derjenigen Abfallfraktionen definiert werden, die unspezifisch verwertet oder beseitigt werden, d. h. in die Verfüllung gehen, energetisch verwertet oder beseitigt werden. Ein solcher Ansatz, der die Stoffgehalte von „Endfraktionen“ adressiert, ist in Anhang 3 Tab. 2 Nr. 1.01 der Deponieverordnung[43] bereits für einige Parameter umgesetzt worden und betrifft z. B. den maximalen Anteil der in der Endfraktion enthaltenen Organik. Demnach darf für die Deponien der Klasse II der „organische Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz“ (bestimmt als Glühverlust) maximal 5 % betragen. Eine Festsetzung solcher Maximalgehalte sollte jedoch im Rahmen der Altfahrzeuggesetzgebung erfolgen und nicht im Rahmen einer veränderten Deponiegesetzgebung[44].

[42] Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) vom 4. Dezember 2015, gestützt auf die Artikel 29, 30a Buchstabe c, 30b Absatz 1, 30c Absatz 3, 30d Buchstabe a, 30h Absatz 1, 39 Absatz 1, 45 und 46 Absatz 2 des Umweltschutzgesetzes vom 7. Oktober 19831 (USG), und die Artikel 9 Absatz 2 Buchstabe c, 16 Buchstabe c und 47 Absatz 1 des Gewässerschutzgesetzes vom 24. Januar 1991

[43] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV), vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 4. März 2016 (BGBl. I S. 382)

[44] Der maximale Organikgehalt in der Deponieverordnung ist aus der Diskussion um organische Abbauprozesse im Deponiekörper entstanden. Durch diese Prozesse kommt es zu Absenkungen im Deponiekörper, erhöhtes Sickerwasseraufkommen und Eluate von Abbauprodukten. Eine solche Argumentationskette besteht bei der Begrenzung von Metallinhalten zumindest bei inerten Deponien oftmals nicht.

6 Quellenverzeichnis

Adler, B.; Müller, R. (2014): Seltene Erdmetalle: Gewinnung, Verwendung und Recycling. TU Ilmenau Universitätsbibliothek (Hrsg.), Berichte aus der Biomechatronik, Band 10, 2014.

Allwood, J. M. (2016): Automobiles and sustainability: bridging the gap between environmental security and commercial reality. 16th International Automobile Recycling Congress IARC 2016, 16. März 2016, Berlin.

Alonso, E.; Wallington, T.; Sherman, A.; Everson, M. et al. (2012): An Assessment of the Rare Earth Element Content of Conventional and Electric Vehicles. SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 5(2), S. 473-477.

Andersson, M. (2014): Scarce Metals in Swedish End-of-Live Vehicle Recycling, Proceedings SUM 2014, Second Symposium on Urban Mining, Bergamo, Italy; 19 – 21 Mai 2014.

Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt (2016): Alles über PVC. Von der Herstellung bis zum Recycling. Online verfügbar unter https://www.vinnolit.com/vinnolit.nsf/id/2805085CCE37D3F4C1257F88003FBF10/$file/AGPU_AllesueberPVC_DE.PDF., zuletzt geprüft am 11.08.2016.

Aydin, Ü. (2010): Materialidentifikation bewegter Proben aus Aluminium-Legierungen mit der Laser-Emissionsspektrometrie. Aachen, Shaker.

Bally, A. (2003): Altreifenentsorgung – Was ist ökologisch sinnvoll? Kreuzlingen.

Bartos, R.; Quitter, D. (2008): Aktuelle Stahlsorten und Konstruktionsweisen für tragende Bleche und Profile. Online verfügbar unter http://www.konstruktionspraxis.vogel.de/aktuelle-stahlsorten-und-konstruktionsweisen-fuer-tragende-bleche-und-profile-a-114297/, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Bayerisches Landesamt für Statistik (2015): Abfallentsorgung 2015. Schredderanlage / Schrottschere. Online verfügbar unter https://www.statistik.bayern.de/medien/statistik/erhebungen/abfallwirtschaft/fbshr_fiu_201603.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2017.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2013): infoBlatt Gebraucht- und Altreifen. Online verfügbar unter http://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/doc/infoblaetter/altreifen.pdf, zuletzt geprüft am 06.04.2016.

Berzelius (2014): Pressemeldung: 1 Mio. Tonnen Akkuschrott recycelt. Online verfügbar unter http://www.berzelius.de/berzelius/aktuelles/view.php?id=47&navid=10., zuletzt geprüft am 27.07.2016.

BMW AG. (2009): Fahrzeugrecycling. Nachhaltigkeit im Fokus. Online verfügbar unter https://www.bmw.de/dam/brandBM/marketDE/countryDE/topics/service-zubehoer/bmw-service/reycling/pdf/recycling-flyer.pdf.download.1373955280175.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Umweltbundesamt (UBA) (2010): Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2008 gemäß Art. 7 Abs. 2 der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG. Dessau-Roßlau/Bonn. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/jahresbericht_altfahrzeug_2008_bf.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2017.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Umweltbundesamt (UBA) (2011): Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2009 gemäß Art. 7 Abs. 2 der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG. Dessau-Roßlau/Bonn. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/jahresbericht_altfahrzeug_2009_bf.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2017.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Umweltbundesamt (UBA) (2012): Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2010 gemäß Art. 7 Abs. 2 der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG. Dessau-Roßlau/Bonn. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/jahresbericht_altfahrzeug_2010_bf.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2017.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Umweltbundesamt (UBA) (2013): Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2011 gemäß Art. 7 Abs. 2 der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG. Dessau-Roßlau/Bonn. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/jahresbericht_altfahrzeug_2011_bf.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2017.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Umweltbundesamt (UBA) (2014): Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2012 gemäß Art. 7 Abs. 2 der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG. Dessau-Roßlau/Bonn. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/jahresbericht_altfahrzeug_2012_bf.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2017.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Umweltbundesamt (UBA) (2015): Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2013 gemäß Art. 7 Abs. 2 der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG. Dessau-Roßlau/Bonn. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/jahresbericht_altfahrzeug_2013_bf.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2017.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Umweltbundesamt (UBA) (2016): Jahresbericht über die Altfahrzeug-Verwertungsquoten in Deutschland im Jahr 2014 gemäß Art. 7 Abs. 2 der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG. Dessau-Roßlau/Bonn. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Abfallwirtschaft/jahresbericht_altfahrzeug_2014_bf.pdf, zuletzt geprüft am 10.10.2017.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (2016): Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz. Berlin, 2016.

Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. (1995): Europäische Stahlschrottsortenliste Fassung: 1. Juni 1995. Online verfügbar unter http://www.bdsv.org/downloads/sortenliste_eu.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Burnand, M. (2014): Quality of Ferrous Scraps. Pers. Kom. 06.11.2014.

Chancerel, P. (2010): Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment. An assessment of the recovery of gold and palladium. Dissertation Technische Universität Berlin, Institut für Technischen Umweltschutz, ITU-Schriftenreihe 09/2010, Berlin.

Clean Dealership (2013): SRS/Airbag Disposal & Deployment Practices. A Refresher. Online verfügbar unter http://tms.cleanautoalliance.org/documents/AWARE_SRS_April_2013.pdf., zuletzt geprüft am 29.07.2016.

Clean Energy Project (2013): Taschen aus Airbags. Online verfügbar unter http://www.cleanenergy-project.de/soziales/5744-taschen-aus-airbags., zuletzt geprüft am 29.07.2016.

Collins, C.; Fanning, A.; Crowe, M.; Meaney, B. (2002): End of Life Vehicles in Ireland. A Sectoral Report (Agency, E. P., Hrsg.). Online verfügbar unter https://www.epa.ie/pubs/reports/waste/plans/EPA_end_of_life_vehicles_2002.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Croatian Agency for the Environment and Nature (2015): Quality Report – REUSE/RECYCLING/RECOVERY RATES IN THE REPUBLIC OF CROATIA IN ACCORDANCE WITH ARTICLE 7(2) OF DIRECTIVE 2000/53/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL ON END-OF-LIFE VEHICLES (ELVs). Zagreb.

Cullbrand, K.; Magnusson, O. (2011): The Use of Potentially Critical Materials in Passenger Cars, Department of Energy and Environment, Division of Environmental Systems Analysis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.

Danzer, K.; Hobert, H.; Fischbacher, C.; Jagemann, K.-U. (2001): Chemometrik – Grundlagen und Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York.

Davison, P.; Pocklington, D. (2015): Composition, Recycling and Recovery Trial for End-of-Life Vehicles in the United Kingdom.

Deutsche Rohstoffagentur (2015): DERA-Rohstoffliste 2014 – Angebotskonzentration bei mineralischen Rohstoffen und Zwischenprodukten – potenzielle Preis- und Lieferrisiken. Online verfügbar unter http://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/DERA_Rohstoffinformationen/rohstoffinformationen-24.pdf;jsessionid=B5273FCF32FB73347CB295A6E9A9B0D7.1_cid321?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 13.11.2015.

DIN 19698-1. (2014): Untersuchung von Feststoffen - Probenahme von festen und stichfesten Materialien - Teil 1. Anleitung für die segmentorientierte Entnahme von Proben aus Haufwerken.

DIN 19747:2009-07 (2009): Untersuchung von Feststoffen - Probenvorbehandlung, -vorbereitung und -aufarbeitung für chemische, biologische und physikalische Untersuchungen.

DIN EN 10088-3:2014-12 (2014): Nichtrostende Stähle - Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung.

DIN EN 15442. (2011): Feste Sekundärbrennstoffe –Verfahren zur Probenahme.

DIN EN 932-1 (1996): Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen.

Doerffel, K.; Geyer, R.; Müller, H. (1994): Analytikum. Methoden der analytischen Chemie und ihre theoretischen Grundlagen (9. stark überarbeitete Aufl.). Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.

Du, X.; Restrepo, E.; Widmer, R.; Wäger, P. (2015): Quantifying the distribution of critical metals in conventional passenger vehicles using input-driven and output-driven approaches: a comparative study. J Mater Cycles Waste Manag 17:218-228, 2015.

Duwe, C.; Goldmann, D. (2012): Stand der Forschung zur Aufbereitung von Shredder-Sanden. In: Recycling und Roh-stoffe. Band 5. TK Verlag. Neuruppin. Online verfügbar unter http://www.r-zwei-innovation.de/_media/V01_Berlin2012.pdf. Aufgerufen am: 18. August 2016., zuletzt geprüft am 01.08.2016.

E-DIN 19698 Teil 2 (o,J): Untersuchung von Feststoffen — Probenahme von festen und stichfesten Materialien— Teil 2: Anleitung für die Entnahme von Proben zur integralen Charakterisierung von Haufwerken, 18.11.2015.

E-DIN 19698 Teil 2 (2015): Untersuchung von Feststoffen — Probenahme von festen und stichfesten Materialien— Teil 2: Anleitung für die Entnahme von Proben zur integralen Charakterisierung von Haufwerken, 18.11.2015.

Entek (2016 mündl.): Persönliche Kommunikation mit der Firma Entek GmbH & Co. kg im August 2016.

EU Kommission (2014): Report in Critical Raw Materials for the EU - Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, Brüssel. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/10010/attachments/1/translations/en/renditions/native, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

EUROBAT (o.J): A review of battery technologies for automotive applications, Brüssel. Online verfügbar unter http://www.ila-lead.org/UserFiles/File/Newsletter%20files/A_Review_of_Battery_Technologies_for_Automotive_Applications_May_2014.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

EUROBAT (2012): The availability of automotive lead-acid batteries for recycling in the EU, Brüssel. Online verfügbar unter http://www.ila-lead.org/UserFiles/File/Newsletter%20files/IHS_eurobat_report_lead_LoRes%20FINAL.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

EUROBAT (2014): Battery Materials Analysis, Brüssel. Online verfügbar unter http://www.eurobat.org/sites/default/files/resource_availability_of_metals_used_in_batteries_-_executive_summary.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

EUROSTAT (2013): How to report on end-of-life vehicles according to Commission Decision 2005/293/EC – Revision by Eurostat: 06 May 2013. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/eurostat/documents/342366/351811/ELV-Guidance-052013.pdf, zuletzt geprüft am 27.04.2016.

Euwid (2016): Weniger Altreifen in Deutschland. Online verfügbar unter http://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/einzelansicht/Artikel/weniger-altreifen-in-deutschland.html., zuletzt geprüft am 28.07.2016.

Faulstich, M.; Benker, B.; Seelig, J.; Franke, M.; Reh, K. (2015): Abschlussbericht zum Projekt Demontagefabrik im urbanen Raum – Erweiterte Stoffstromanalyse. Sulzbach-Rosenberg. Online verfügbar unter http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/116300/l7515005.pdf?command=downloadContent&filename=l7515005.pdf&FIS=203, zuletzt geprüft am 18.08.2016.

Felsenstein, K. (2006): Guideline 03/2006. to perform a shredder balance according to the End-of-life Vehicles Ordinance 2002 (BGBl. II Nr. 407/2002) (FHA – Gesellschaft für chemisch-technische Analytik GmbH, Hrsg.).

Gaillot, O.; McCormack, I. (2009): Depollution and Shredder Trial on end of life vehicles in Ireland, zuletzt geprüft am 01.08.2016.

Gaudillat, P.; Antonopoulos, I.; Dri, M.; Traverso, M.; Canfora, P. (2016): Draft Report for the development of an EMAS SRD – Best Environmental Management Practice for the Car Manufacturing Sector. Brüssel.

GEIR (2008): Questionnaire on used oil collection and utilization in 2006. Online verfügbar unter http://www.geir-rerefining.org/documents/WO-questionnaire-EU27-final-022208.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2017.

Gemeinsames Rücknahmesystem Batterien (2013): Die Welt der Batterien Funktion, Systeme, Entsorgung. Online verfügbar unter http://www.grs-batterien.de/fileadmin/user_upload/Download/Wissenswertes/Welt_der_Batterien.pdf, zuletzt geprüft am 06.04.2016.

GHK & Bio (2006): A study to examine the benefits of the End of Life Vehicles Directive and the costs and benefits of a revision of the 2015 targets for recycling, re-use and recovery under the ELV Directive, Annex 3. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/study/annex3.pdf, zuletzt geprüft am 18.08.2017.

Global Automotive Declarable Substance List (GADSL) (2016): GADSL reference list, 2016 version.

Goldmann, D. (2012): „Shredder-Sand" – Rückgewinnung feinkörniger Fe-Metallphasen aus Shredder-Sanden. BMBF Förderkennzeichen: 033R001, zuletzt geprüft am 18.08.2017.

Graedel, T. E.; Allwood, J.; Birat, J.-P.; Reck, B. K.; Sibley, S. F.; Sonnemann, G. et al. (2011): Recycling Rates of Metals – A Status Report, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. UNEP. 2011.

Groke, M.; Kaerger, W.; Sander, K.; Bergamos, M. (2015): Optimierung der Separation von Bauteilen und Materialien aus Altfahrzeugen zur Rückgewinnung kritischer Metalle (ORKAM). Ketzin. In Auftrag des Umweltbundesamts. FKZ 3713 33 337. Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/publikationen/2017-01-11_texte_02-2017_orkam_endbericht.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2017.

Gy, P. (1999): Sampling for Analytical Purposes. John Wiley & Sons. Chichester New York Weinheim Brisbane Singapore Toronto.

Gyllenram, R.; Westerberg, O. (2016): The impact of scrap upgrading on EAF production cost and environmental performance; in: stahl und eisen 136 (2016) Nr. 1 S. 31 - 36. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/278939293_The_impact_of_scrap_upgrading_on_EAF_production_cost_and_environmental_performance, zuletzt geprüft am 08.01.2018.

Hamm (2016 mündl.): Telefonisches Gespräch mit H. Hamm, Geschäftsführer der kaputt GmbH am 02.09.2016.

Hartung, J. (1981): Nonnegative Minimum biased invariant Estimation in Variance component models, The Annals of Statistics, 1981, Vol. 9, No. 2, 278-292. Online verfügbar unter https://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.aos/1176345394, zuletzt geprüft am 31.12.2017.

Hoffmann, D.; Conrad, H. (2016mündl): Persönliche Kommunikation mit Cablo Metall Recycling & Handel GmbH im Juni/Juli 2016.

Ifri (2010): Rare Earths and Clean Energy: Analyzing China's Upper Hand. Online verfügbar unter https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/noteenergieseaman.pdf, zuletzt geprüft am 18.08.2016.

Informations - Portal - Abfallbewertung (2016): Abfallsteckbrief 1601 Altfahrzeuge (Stand (18.03.2016), zuletzt geprüft am 28.06.2016.

Jenseit, W.; Stahl, H.; Wollny, V.; Wittlinger, R. (2003): Recovery Options for Plastic Parts from End-of-Life Vehicles: An Eco-Efficiency Assessment. Final Report, in Zusammenarbeit mit der BASF, im Auftrag der Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME). Darmstadt.

Jepsen, D.; Zimmermann, T.; Sander, K.; Günther, M.; Wagner, J. (2016): Erhebung der Struktur des Altölsammelmarktes und Optimierungspotenziale für bessere Altölqualitäten im Kontext der Abfallhierarchie.

Joint Research Centre (2014): Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries, Final Draft October 2014. Online verfügbar unter http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/NFM_Final_Draft_10_2014.pdf, zuletzt geprüft am 28.06.2016.

JRC – Joint Research Centre, European IPPC Bureau: Best Available Techniques (BAT) Reference (2014): Document for the Non-Ferrous Metals Industries. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Final Draft. October 2014.

Kitagawa, K. (2011): Automobile Recycling in Europe, Japan & North America. Präsentation. Online verfügbar unter http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgcenica/2011_09_09_kkitagawa.pdf, zuletzt geprüft am 18.09.2016.

Knobloch, V.; Zimmermann, T.; Gößling-Reisemann, S. (o.J): From criticality to vulnerability of resource supply: The case of the automobile industry. unveröffentlicht.

Kohlmeyer, R. (2015a): Fünfzehn Jahre später. In: Recycling Almanach, S. 145 – 149, München.

Kohlmeyer, R. (2015): Perspektiven der zunehmenden Fahrzeugelektronik für das Altfahrzeugrecycling. Präsentation auf der Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz 16. und 17. März 2015. Online verfügbar unter http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2015_rur/2015_RuR_183-206_Kohlmeyer.pdf, zuletzt geprüft am 28.12.2017.

Kohlmeyer, R.; Groke, M.; Sander, K.; Bergamos, M. (2015): Perspektiven der zunehmenden Fahrzeugelektronik für das Altfahrzeugrecycling. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 8. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2015, S. 183-205.

Kuchta, K.; Schöne, F. (2014): Rückgewinnung von Platingruppenmetallen aus Abgaskatalysatoren, in: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Bd. 7. Online verfügbar unter http://www.vivis.de/phocadownload/2014_rur/2014_RuR_137_146_Kuchta.pdf, zuletzt geprüft am 18.09.2016.

Kummer, B.; Scholz-Recycling GmbH. (2008): Großversuch bestätigt Wirksamkeit der Scholz-Post-Shredder-Technik. Online verfügbar unter http://plasticker.de/fachwissen/showartikel.php?id=70&begriff=&backto=/fachwissen/fachartikel.php, zuletzt geprüft am 18.09.2016.

Kurth, G.; Kurth, B. (2014): Röntgentrennung für Aluminiumrecycling, Abschlussbericht BMU-Umweltinnovationsprogramm.

Lovik, A. N.; Modaresi, R.; Müller, D. B. (2014): Long Term Strategies for Increased Recycling of Automotive Aluminum and Its Alloying Elements, Environmental Science and Technology, 2014, 48, 4257 - 4265. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/261032314_Long-Term_Strategies_for_Increased_Recycling_of_Automotive_Aluminum_and_Its_Alloying_Elements, zuletzt geprüft am 08.01.2018.

Milzer (2016 mündl): Persönliche Kommunikation mit Berzelius Metall GmbH 2016.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2015): Description of the data submitted according to Commission Decision 2005/293/EC on the monitoring of the reuse/recovery and reuse/recycling targets on ELVs. (o.O.).

Ministry of Agriculture Hungary (2015): Report of the Member State Hungary about the Recovery Rates from ELV Waste Stream Reference Year: 2013. Budapest.

Ministry of the Environment Poland (2015): Sprawozdanie Rzeczypospolitej Polskiej na temat osiągniętych poziomów ponownego użycia i odzysku oraz ponownego użycia i recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji za okres od dnia 1 stycznia 2013 r. do dnia 31 grudnia 2013 r. Warschau.

Moakley, J.; Weller, M.; Zelic, M. (2010): An Evaluation of Shredder Waste Treatments in Denmark – Alternative Methods to Landfilling Auto Shredding Residue in Compliance with the Strict Environmental Quota by the European Union.

Modaresi, R.; Müller, D. B. (2012): The Role of Automobiles for the Future of Aluminum Recycling. In: Environmental Science & Technology 46(16), S. 8587-8594.

Nemry, F.; Leduc, G.; Mongelli, I.; Uihlein, I. (2008): Environmental Improvement of Passenger Cars. Sevilla, 2008.

Nuss, P.; Eckelman, M. J. (2014): Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis. PLoS ONE, 9(7), e101298., 2014.

o.A. (2015): Ireland - Report for 2013. (Excel-Tabelle).

Ohno, H.; Matsubae, K.; Nakajima, K.; Nakamura, S.; Nagasaka, T. (2014): Unintentional Flow of Alloying Elements.

Ökopol. (2012a): Background information on the guidance document "How to perform a shredder campaign". Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/eurostat/documents/342366/351811/Shredder-campaign-information.pdf, zuletzt geprüft am 18.09.2016.

Ökopol. (2012b): Guidance Document on „How to perform a shredder campaign“. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/eurostat/documents/342366/351811/Shredder-campaign-guidance.pdf, zuletzt geprüft am 18.09.2016.

Optimat (2013): Remanufacture, refurbishment, reuse and recycling of vehicles: Trends and opportunities. Online verfügbar unter http://www.gov.scot/Resource/0044/00440543.pdf, zuletzt geprüft am 18.09.2016.

Pitard, F. F. (1993): Pierre Gy's sampling theory and sampling practice. Heterogeneity, sampling correctness, and statistical process control 2. ed.). Boca Raton: CRC Press.

PlasticsEurope (2016): Eco Profiles. Brüssel, 2016.

Portuguese Environment Agency (2015): Data for the year 2013. Portugal.

R.P.S. Colsulting. (2013): ELV Producer Responsibility. Initiative im Rahmen des Projektes Review of the Producer Responsibility Initiative Model in Ireland. Online verfügbar unter https://www.esri.ie/pubs/BKMNEXT270.pdf, zuletzt geprüft am 21.08.2017.

RAL (2017): RAL GZ 724. Online verfügbar unter http://bgs-ev.de/die-guetesicherung/, zuletzt geprüft am 31.12.2017.

Ratman-Kłosińska, I. (2016): Analysis of the End of Life Vehicle value chain (ARN, Hrsg.). Online verfügbar unter http://www.newinnonet.eu/downloads/D%202.3_RP_Report%20summarising%20the%20analysis%20of%20the%20End-of-Life%20Vehicle%20chain.pdf, zuletzt geprüft am 21.08.2017.

Reck, B. K. (2014): Funktionelles und nicht-funktionelles Recycling am Beispiel Edelstahl, in: Karl J. Thomé-Kozmiensky & Daniel Goldmann (Hrsg.) Recycling und Rohstoffe Band 7. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, S. 309-319. Online verfügbar unter http://www.vivis.de/phocadownload/2014_rur/2014_RuR_309_320_Reck.pdf. Aufgerufen am: 18. August 2016., zuletzt geprüft am 21.08.2017.

Reuter, M. A.; Hudson, C.; van Schaik, A.; Heiskanen, K.; Meskers, C.; Hagelüken, C. (2013): Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. UNEP, 2013.

Sander, K.; Gößling-Reisemann, S.; Zimmermann, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Wagner, J.; Schebek, L. et al. (2016): Ermittlung von Substitutionspotenzialen von primären strategischen Metallen durch Sekundärmaterialien (Kurztitel: Recyclingpotenzial strategischer Metalle) - ReStra- UBA FKZ 3711 93 339.

Sander, K.; Marscheider-Weidemann, F.; Wilts, H.; Hartfeil, T.; Hobohm, J.; Bergamos, M.; Heymann, R. (2018): Weiterentwicklung der abfallwirtschaftlichen Produktverantwortung unter Ressourcenschutzaspekten am Beispiel von Elektro- und Elektronikgeräten (RePro), Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungskennzahl 3711 95 318, Veröffentlichung für 2018 geplant.

Sander, K.; Rödig, L.; Wagner, L.; Holzhauer, R.; Baberg, L.; Spiecker, T. et al. (2017): Evaluierung und Fortschreibung der Methodik zur Ermittlung der Altfahrzeugverwertungsquoten durch Schredderversuche unter der EG-Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EG. Hamburg, 2017. Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Forschungskennzahl 3715 33 305 0, Veröffentlichung in Vorbereitung.

Sander, K.; Wagner, L.; Sanden, J.; Wilts, H. (2017c): Entwicklung von Lösungsvorschlägen, einschließlich rechtlicher Instrumente, zur Verbesserung der Datenlage beim Verbleib von Altfahrzeugen. UBA-Texte 50/2017.

Schäfer, A.; Schäfer, S. (2015): Innovative Metallaufbereitung beim Recycling – ausgewählte Anwendungsbeispiele –. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 8. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2015, S. 537 – 548. Online verfügbar unter http://vivis.de/phocadownload/2015_rur/2015_RuR_535-548_Schaefer.pdf, zuletzt geprüft am 06.04.2016.

Schlotter, U. (o.J.): Kunststoffe im Automobil und resultierende Auswirkungen auf die Verwertung, Frankfurt.

Schmid, D.; Zur-Lage, L. (2014): Perspektiven für das Recycling von Altfahrzeugen – moderne Fahrzeuge und angepasste Recyclingverfahren. Online verfügbar unter http://www.vivis.de/phocadownload/2014_rur/2014_RuR_103_126_Schmid.pdf, zuletzt geprüft am 21.07.2016.

Schmidt (2016): pers. Kom. Prof. Dr.-Ing., Dipl.-Phys. Joachim Schmidt, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaft, 23.03.2016.

Schmiemann, A.; Tappe, P.; Orth, P. (1994): Werkstoffliches Recycling von technischen Thermoplasten aus Kraftfahrzeuganwendungen. In: J. Schmidt & R. Leithner (Hrsg.): Stoffliche, rohstoffliche und thermische Verwertung bei Automobilproduktion und Altautorecycling, S. 141-154, Springer Berlin Heidelberg.

Schneichel, F. (2006): Gutachtliche Stellungnahme Begleitung eines Versuchs zur Verwertung von Altfahrzeugen. TÜV-Auftrags-Nr.: 8000341843 (TNCERT), 8000314098 (TNU) (TÜV, Hrsg.).

Schöps, D.; Salhofer, S.; Spitzbart, M.; Hagelüken, C.; Meskers, C. E. M.; Kriegl, M.; Panowitz, G. (2010): Bilanzierung der Edelmetallverluste beim E-Schrottrecycling. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Daniel Goldmann (Hg.): Recycling und Rohstoffe. Band 3. Neuruppin: TK-Verlag, S. 641–645.

Schubert, G.; Jäckel, H.-G.; Suhm, K. (2006): Ermittlung der Verwertungsquote für Altfahrzeuge im Rahmen eines Großversuches bei der SCHOLZ AG (Scholz AG, Hrsg.).

Seaman, J. (2010): Rare Earths and Clean Energy: Analyzing China's Upper Hand. Institut français des relations internationals (Ifri), 2010.

Sicon GmbH (2016): DER VARISORT 2.0 – Die nächste Generation der Sensorsortierung feiert Premiere!

SIGRAUTO. (2010): Report of the trial for evaluating the "Recovery levels from end of life vehicles”.

Sogeti. (2010): Sampling and estimation issues in relation to the implementation of a shredder campaign.

Stahl, D.; Arx, U. von; Figi, R. (2011): Bestimmung von Schwermetallen in Bremsbelägen von Fahrzeugen – Bericht der Schwerpunktkampagne 2008/2009. Zürich. Online verfügbar unter http://www.bag.admin.ch/anmeldestelle/13604/13885/14411/index.html?lang=it&download=NHzLZeg7t,lnp6I0NTU042l2Z6ln1ah2oZn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCKeYN8e2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--, zuletzt geprüft am 06.04.2016.

Stahl, H.; Bauknecht, D.; Hermann, A.; Jenseit, W.; Köhler, A.; Merz, C. et al. (2015): Ableitung von Recycling- und Umweltanforderungen und Strategien zur Vermeidung von Versorgungsrisiken bei innovativen Energiespeichern, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit Forschungskennzahl 3713 93 307. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ableitung-von-recycling-umweltanforderungen, zuletzt geprüft am 01.09.2017.

Statistisches Bundesamt (2009): Abfallentsorgung 2007. Fachserie 19, Reihe 1, Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00007901/2190100077004.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2017.

Statistisches Bundesamt (2010): Abfallentsorgung 2008. Fachserie 19, Reihe 1, Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00007902/2190100087004.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2017.

Statistisches Bundesamt (2011): Abfallentsorgung 2009. Fachserie 19, Reihe 1, Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00007903/2190100097004.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2017.

Statistisches Bundesamt (2012): Abfallentsorgung 2010. Fachserie 19, Reihe 1, Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00013319/2190100107004_.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2017.

Statistisches Bundesamt (2013): Abfallentsorgung 2011. Fachserie 19, Reihe 1, Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00013321/2190100117004.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2017.

Statistisches Bundesamt (2014): Abfallentsorgung 2012. Fachserie 19, Reihe 1. Erschienen am 29.07.2014, korrigiert am 07.12.2016 (Tabellen 2.7, 2.8, 2.9). Online verfügbar unter https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00032676/2190100127004_korr07122016.pdf, zuletzt geprüft am 13.10.2017.

Statistisches Bundesamt (2015): Abfallentsorgung 2013. Fachserie 19, Reihe 1, Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00032677/2190100137004_korr07122016.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2017.

Statistisches Bundesamt (2016): Abfallentsorgung 2014. Fachserie 19, Reihe 1, Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00032678/2190100147004_korr07122016.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2017.

Statistisches Bundesamt (2017): Abfallentsorgung 2015 - Fachserie 19 Reihe 1, Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00032772/2190100157005_korr31082017.pdf, zuletzt geprüft am 01.08.2017.

Tabel, T.; Leistner, W.; Hollm, R. (2011): Einsatz einer Kompaktsortieranlage zur Metallausschleusung bei Schredderleichtfraktionen. Abschlussbericht, BMU-Umweltinnovationsprogramm.

U.S. Geological Survey (2015): Commodity Statistics and Information. Online verfügbar unter http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/, zuletzt geprüft am 01.12.2016.

U.S. Geological Survey (2015): Commodity Statistics and Information. 2015.

Umweltbundesamt (UBA) (2016): Steigerung des Kunststoffrecyclings und des Rezyklateinsatzes. Position. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/170601_uba_pos_kunststoffrecycling_dt_bf.pdf, zuletzt geprüft am 28.12.2017.

United Nations Environmental Program (2011): Authors: Graedel, T.E.; Allwood, J.; Birat, J.-P.; Reck, B.K.; Sibley, S.F.; Sonnemann, G.; Buchert, M.; Hagelüken, C.: Recycling Rates of Metals – A Status Report, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel.

United Nations Environmental Program (2013): Authors: Reuter, M. A.; Hudson, C.; van Schaik, A.; Heiskanen, K.; Meskers, C.; Hagelüken, C.: Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel.

van Veldhuizen, M.; van Burik, A. (2007): Monitoring on ELVs in the Netherlands. [Powerpoint Sheet]. Online verfügbar unter http://eea.government.bg/bg/prev_nsmos/waste/elv-netherland-05-2007/ARN%20Monitoring%20of%20ELV.pdf, zuletzt geprüft am 28.07.2017.

Verband der deutschen Automobilindustrie (1997): VDA 231-106 Werkstoffklassifizierung im Kraftfahrzeugbau Aufbau und Nomenklatur, VDA-Werkstoffblätter, 01. Januar 1997.

Vermoesen, J. (2015): Belgium at the top of Post Shredder Technology to achieve the WEEE and ELV recycling objectives. Präsentation ISWA, 2015.

Versteyl, A. (2012): Hochwertigkeit der Verwertung nach dem KrWG – Anforderungen an die Hochwertigkeit der Verwertung nach dem neuen KrWG. In: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Daniel Goldmann (Hg.): Recycling und Rohstoffe, Band 5, S. 201-211.

Volkswagen (2016a): Von diesen Vorteilen profitieren alle. Online verfügbar unter http://www.volkswagen-nutzfahrzeuge.de/de/unternehmen/nachhaltigkeit/recycling/werkstattentsorgung.suffix.html/content~2Fm129_navigation_cont~2Fitems~2Fm129_navigation_cont_0.html#/tab=cf3454756d92a923cd88b26ee8c324d8, zuletzt geprüft am 27.06.2016.

Volkswagen (VW) (2016b): Airbags und Gurtstraffer. Online verfügbar unter http://www.volkswagen.de/de/servicezubehoer/VolkswagenOriginalTeile/ihre_vorteile/umweltschutz/verwertungswege/verwertungswege.html, zuletzt geprüft am 29.07.2016.

VVEA (2015): Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) [der Schweiz] vom 4. Dezember 2015.

Wallau, F. (2001): Kreislaufwirtschaftssystem Altauto: Eine empirische Analyse der Akteure und Märkte der Altautoverwertung in Deutschland. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden.

Wegner, R. (2016 mündl.): Persönliche Kommunikation mit ReMetall Deutschland am 29.6.2016.

Widmer, R.; Du, X.; Haag, O.; Restrepo, E.; Wäger, P. (2015): Scarce Metals in Conventional Passenger Vehicles and End-of-Life Vehicle Shredder Output. Environmental Science & Technology, 49 (7), S. 4591–4599.

Widmer, R.; Wäger, P.; Restrepo,, E.; Du, X. (2014): Seltene Metalle in Personenwagen und Fraktionen aus Autoshreddern, UBA Fachgespräch 17.06.2014, Berlin.

Wille, D. (2013): Environmental impact assessment of recycling routes for automotive glass, OVAM, Mechelen. Online verfügbar unter http://ebl.vlaanderen.be/publications/documents/70216, zuletzt geprüft am 17.10.2017.

Winterstein, M.; Einax, J.-W. (2011): Bestimmung der erweiterten Unsicherheit der Probennahme inhomogener Brenn- und Einsatzstoffe., Abschlussbericht November 2011 (FKZ 390 01 024).

Worrell, E. (2014): Handbook of recycling - State-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists, Elsevier, Amsterdam. ISBN: 978-0-12-396459-5.

Zitzewitz, A. von (2002): Recyclingprozesse von Fahrzeug-Kabelsträngen im Vergleich unter besonderer Berücksichtigung des Kupferanteils. Diplomarbeit an der Montanauniversität Leoben, Österreich.

7 Anhang

7.1 Anhang A - Fragebogen für Demontagebetriebe

Abbildung 121: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 1

Fortschreibung der Methodik zum Quotenmonitoring für Altfahrzeuge (FKZ 371533305) Bitte füllen Sie die blau markierten Felder aus. **Fragebogen zur Erhebung der praktizierten Verbleibswege**								
Firmenname								
Ansprechpartner								
Emailadresse								
1 Allgemeine Daten zu verwerteten Altfahrzeugen								
Anzahl der verwerteten Altfahrzeuge in 2014	Zahl							
Anzahl der verwerteten Altfahrzeuge nach Gewicht	Klein (<1.000kg)		Mittel (1.000kg – 1.250 kg)		Groß (>1.250kg)			
	Zahl		Zahl		Zahl			
Durchschnittsalter der behandelten Altfahrzeuge im Betrieb in 2014	Zahl							
	Menge in Tonnen							
Gesamtmasse der Altfahrzeuge nach Briefgewicht (Schlüssel 160104*)	Zahl							
Zustandekommen der Zahl	☐	Messung/ Waage	☐	Schätzung	☐	Rechnungs-/ Tabellendaten	☐	Erfahrungs-werte
Durchschnittliche Gewichtsabweichungen: Angaben des Fahrzeugbriefes zum tatsächlichen Gewicht von Altfahrzeugen bei Anlieferung beim Demontagebetrieb	☐	0%	☐	>10%	☐	>20%	☐	>30%
Vertriebswege Gebrauchtteile	Kundendemontage		Externe Werkstätten		Lagerverkauf		Internetvermarktung	
Anteil in Massen-%	Prozentzahl		Prozentzahl		Prozentzahl		Prozentzahl	
Anteil der Altfahrzeuge, denen der Antriebsstrang entnommen wird?	Prozentzahl							
Anteil der Altfahrzeuge, denen nur das Getriebe entnommen wird?	Prozentzahl							
Wonach wird die Demontage des Antriebstrangs entschieden? (z.B.: Modell, Baujahr)	Text							
Verbleib des Antriebsstrangs (z.B.: Externe Werkstätten, Lagerverkauf)	Text							
Wie werden die Gewichte von Ersatzteilen erhoben?	☐	Messung/ Waage	☐	Schätzung	☐	Rechnungs-/ Tabellendaten	☐	Erfahrungs-werte
Würde es Ihren Betriebsablauf vereinfachen, wenn die Quotenermittlung bei der Zertifizierung und die Erhebung der Abfallstatistik zusammengeführt werden?	☐ JA				☐ NEIN			

Abbildung 122: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 2

2 Outputströme Demontagebetriebe												Diese Angaben können Sie aus dem DBA-Formblatt 2014 übernehmen
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen		Beseitigung in %		Stoffliche Verwertung in %		Energetische Verwertung in %		Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %	
Glas	160120	Zahl		Prozentzahl		Prozentzahl		Prozentzahl		Prozentzahl	
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib						Text					
Wenn keine Demontage, warum nicht?		☐	Wirtschaftlich uninteressant	☐	Keine Abnehmer bekannt	☐	Technisch nicht möglich	Freitext (Andere Gründe)			
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen		Beseitigung in %		Stoffliche Verwertung in %		Energetische Verwertung in %		Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %	
Kunststoff	160119	Zahl		Prozentzahl		Prozentzahl		Prozentzahl		Prozentzahl	
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib						Text					
Wenn keine Demontage, warum nicht?		☐	Wirtschaftlich uninteressant	☐	Keine Abnehmer bekannt	☐	Technisch nicht möglich	Freitext (Andere Gründe)			
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen		Beseitigung in %		Stoffliche Verwertung in %		Energetische Verwertung in %		Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %	
Elektronikbauteile; Platinen, Stellmotore, Steuergeräte		Zahl		Prozentzahl		Prozentzahl		Prozentzahl		Prozentzahl	
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib											
Wenn keine Demontage, warum nicht?		☐	Wirtschaftlich uninteressant	☐	Keine Abnehmer bekannt	☐	Technisch nicht möglich	Freitext (Andere Gründe)			
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen		Beseitigung in %		Stoffliche Verwertung in %		Energetische Verwertung in %		Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %	
Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten (Restkarossen)	160106	Zahl		Prozentzahl		Prozentzahl		Prozentzahl		Prozentzahl	
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib						Text					
Zustandekommen der Zahl		☐	Messung/ Waage	☐	Schätzung	☐	Rechnungs-/ Tabellendaten	☐	Erfahrungswerte		

Abbildung 123: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 3

Aus wieviel Prozent der Fahrzeuge demontieren Sie folgende Bauteile?

Komponente	Anteil der Fahrzeuge in Prozent	Verwendete Abfallschlüsselnummern
Autoradio	Prozentzahl	
Bestückte Leiterplatten	Prozentzahl	
Displays mit LED-Hintergrundbeleuchtung	Prozentzahl	
Elektromotoren	Prozentzahl	
Elektronikbauteile	Prozentzahl	
Generatoren (z.B. Lichtmaschine)	Prozentzahl	
Große Kunststoffteile	Prozentzahl	
Glas	Prozentzahl	
Kompressor der Klimaanlage	Prozentzahl	
Lambda-Sonde	Prozentzahl	
Lautsprecher	Prozentzahl	
Reifen	Prozentzahl	
Servoeinheit der Lenkung	Prozentzahl	
Sonstige Bauteile		
Text	Prozentzahl	
Text	Prozentzahl	
Text	Prozentzahl	

Abbildung 124: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 4

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Separat gelagerte Baugruppen aus Eisenmetallen für eine differenzierte, höherwertige Verwertung z.B. Motor, Gelenkwellen, ...		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Wenn keine Demontage, warum nicht?	☐ Wirtschaftlich uninteressant	☐ Keine Abnehmer bekannt	☐ Technisch nicht möglich	Freitext (Andere Gründe)		

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Separat gelagerte Bauteile aus Nichteisenmetallen für eine differenzierte, höherwertige Verwertung z.B. Kupfer, Alu, Magnesium		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Wenn keine Demontage, warum nicht?	☐ Wirtschaftlich uninteressant	☐ Keine Abnehmer bekannt	☐ Technisch nicht möglich	Freitext (Andere Gründe)		

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen				
Bremsbeläge mit Asbest	160111*	Zahl				
Wenn keine Demontage, warum nicht?	☐ Wirtschaftlich uninteressant	☐ Keine Abnehmer bekannt	☐ Technisch nicht möglich	Freitext (Andere Gründe)		

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Bremsbeläge ohne Asbest	160112	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Wenn keine Demontage, warum nicht?	☐ Wirtschaftlich uninteressant	☐ Keine Abnehmer bekannt	☐ Technisch nicht möglich	Freitext (Andere Gründe)		

Abbildung 125: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 5

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Menge Trockenlegung in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralölbasis	130110*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Menge Trockenlegung in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis	130205*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Menge Trockenlegung in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle	130206*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Menge Trockenlegung in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Eigenverbrauch in %
Heizöl und Diesel	130701*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bei Eigenverbrauch: Wie wird die Menge bestimmt?		☐ Messung/ Waage	☐ Schätzung	☐ Rechnungs-/ Tabellendaten	☐ Erfahrungswerte	

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Menge Trockenlegung in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Eigenverbrauch in %
Benzin	130702*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bei Eigenverbrauch: Wie wird die Menge bestimmt?		☐ Messung/ Waage	☐ Schätzung	☐ Rechnungs-/ Tabellendaten	☐ Erfahrungswerte	

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Menge Trockenlegung in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Fluorchlorkohlenwasserstoffe; HFCKW, HFKW	140601*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Anteil der Klimaanlagen mit Kältemittel		Prozentzahl				

Abbildung 126: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 6

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Altreifen	160103	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Ölfilter	160107*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Explosive Bauteile (z.B. aus Airbags)	160110*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Bremsflüssigkeiten	160113*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten	160114*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 160114 fallen	160115	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
metallische Bauteile / Ersatzteile	16012201	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Was ordnen Sie hier zu?		Text				
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Eisenmetalle	160117	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Was ordnen Sie hier zu?		Text				

Abbildung 127: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 7

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Eisen und Stahl	170405	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Zusätzlich Herkunft der Stoffe (z.B.: aus Altfahrzeug, Bauschutt)		Text				
Was ordnen Sie hier zu?		Text				
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Eisenmetalle	191202	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Zusätzlich Herkunft der Stoffe (z.B.: aus Altfahrzeug)		Text				
Was ordnen Sie hier zu?		Text				
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Nichteisenmetalle	160118	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
externe elektrische Leitungen (einschließlich Kabel)	16021601	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		

Abbildung 128: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 8

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Kupfer, Bronze, Messing	170401	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Zusätzlich Herkunft der Stoffe (z.B.: aus Altfahrzeug, Bauschutt)		Text				

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Aluminium	170402	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Zusätzlich Herkunft der Stoffe (z.B.: aus Altfahrzeug, Bauschutt)		Text				

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Gemischte Metalle	170407	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Zusätzlich Herkunft der Stoffe (z.B.: aus Altfahrzeug, Bauschutt)		Text				

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Kabel mit Ausnahme derjenigen, die unter 170410 fallen	170411	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Zusätzlich Herkunft der Stoffe (z.B.: aus Altfahrzeug, Bauschutt)		Text				

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Metalle	200140	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Zusätzlich Herkunft der Stoffe (z.B.: aus Altfahrzeug)		Text				

Abbildung 129: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 9

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
nicht metallische Bauteile / Ersatzteile	16012202	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Bleibatterien	160601*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		

Wie wird dieser Wert erfasst?	☐	Messung/ Waage	☐	Schätzung	☐	Rechnungs-/ Tabellendaten	☐	Erfahrungs-werte

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Ni-Cd-Batterien	160602*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		

Wie wird dieser Wert erfasst?	☐	Messung/ Waage	☐	Schätzung	☐	Rechnungs-/ Tabellendaten	☐	Erfahrungs-werte

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Quecksilber enthaltende Batterien	160603*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		

Wie wird dieser Wert erfasst?	☐	Messung/ Waage	☐	Schätzung	☐	Rechnungs-/ Tabellendaten	☐	Erfahrungs-werte

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Alkalibatterien (außer 160603)	160604	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		

Wie wird dieser Wert erfasst?	☐	Messung/ Waage	☐	Schätzung	☐	Rechnungs-/ Tabellendaten	☐	Erfahrungs-werte

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Andere Batterien und Akkumulatoren	160605	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		

Wie wird dieser Wert erfasst?	☐	Messung/ Waage	☐	Schätzung	☐	Rechnungs-/ Tabellendaten	☐	Erfahrungs-werte

Abbildung 130: Fragebogen Demontagebetriebe Teil 10

Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	160807*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
gebrauchte Katalysatoren, die Gold, Silber, Rhenium, Rhodium, Palladium, Iridium oder Platin enthalten (außer 160807)	160801	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
gebrauchte Katalysatoren, die Übergangsmetalle oder deren Verbindung enthalten, a.n.g.*	160803	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Bauteile a.n.g.* nicht differenzierbar	16012200	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Was ordnen Sie hier zu?		Text				
Bezeichnung	Abfallschlüsselnummer	Demontierte Menge in Tonnen	Beseitigung in %	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Gewinnung/Verkauf als Ersatzteil in %
Gefährliche Bauteile mit Ausnahme derjenigen, die unter 160107 bis 160111, 160113 und 160114 fallen	160121*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Im Falle einer stofflichen Verwertung: Endverbleib				Text		
Was ordnen Sie hier zu?		Text				

* a.n.g.: anderweitig nicht genannt

7.2 Anhang B - Fragebogen für Schredderbetriebe

Abbildung 131: Fragebogen Schredderbetriebe-Teil 1

Fortschreibung der Methodik zum Quotenmonitoring für Altfahrzeuge (FKZ 371533305) Bitte füllen Sie die blau markierten Felder aus. **Fragebogen zur Erhebung der praktizierten Verbleibswege**		
Firmenname	Text	
Ansprechpartner	Text	
Emailadresse	Text	
1 Inputströme Schredderbetriebe		
Bezeichnung	ASN	Masse in 1000kg
Summe aller Abfallstoffe	99999999	Zahl
Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten (Restkarossen)	16 01 06	Zahl
2 Allgemeiner Fragenteil		
Wie ermitteln Sie das Gewicht (Punkt 1.2, Zeile 03 im Statistik-Erhebungsbogen)?		Text
Wie ermitteln Sie die Anzahl der Restkarossen (Punkt 1.1 im Statistik-Erhebungsbogen)?		Text
Wie hoch ist der Anteil der Restkarossen im Input der Anlage in etwa?		Prozentzahl
Wie ermitteln Sie die betrieblichen Recycling- und Verwertungsquote nach Nr. 4.1.2 des Anhangs der AltfahrzeugV?		Text
Wenn die Anlage nicht nur Restkarossen, sondern auch weitere Inputs verarbeitet: Führen Sie Schredderversuche mit Restkarossen durch?		Text
Wie oft?		Text
Mit welchem Ergebnis?		Text

Abbildung 132: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 2

3 Outputströme Schredderbetriebe Diese Angaben können Sie teilweise aus dem SHR-Formblatt 2014 übernehmen					
Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Eisen- und Stahlabfälle	19 10 01	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
NE-Metallabfälle	19 10 02	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

Abbildung 133: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 3

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Schredderleichtfraktion und Staub, die gefährliche Stoffe enthalten	19 10 03 *	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text

Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)	Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Schredderleichtfraktion und Staub, mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 03* fallen	19 10 04	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text

Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)	Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

Abbildung 134: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 4

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Kunststoff und Gummi	19 12 04	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Kunststoffe	20 01 39	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

Abbildung 135: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 5

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
brennbare Abfälle (Brennstoffe aus Abfällen)	19 12 10	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Eisenmetalle	19 12 02	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

Abbildung 136: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 6

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Nichteisenmetalle	19 12 03	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

4 Welche Fraktionen der sogenannten „Schredderschwerfraktion" fallen in der Anlage an? (Zeilenanzahl an Anzahl der Fraktionen anpassen)

Bezeichnung	ASN vor Aufbereitung	Wird am eigenen Standort aufbereitet		Wird unaufbereitet weitergegeben		Metallgehalt	Enthaltene Metallfraktionen,	ASN nach Aufbereitung (ggf. mehrere)	Anzahl der Fraktionen nach Aufbereitung	Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Zementwerke, Bergversatz etc.)	Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Zementwerke, Bergversatz etc.)	Davon ins EU-Ausland?	Davon ins nicht EU-Ausland?
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl

Abbildung 137: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 7

5 Welche Fraktionen der sogenannten „Schredderleichtfraktion“ fallen in der Anlage an? (Zeilenanzahl an Anzahl der Fraktionen anpassen)													
Bezeichnung	ASN vor Aufbereitung	Wird am eigenen Standort aufbereitet		Wird unaufbereitet weitergegeben		Metallgehalt	Enthaltene Metallfraktionen,	ASN nach Aufbereitung (ggf. mehrere)	Anzahl der Fraktionen nach Aufbereitung	Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Zementwerke, Bergversatz etc.)	Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Zementwerke, Bergversatz etc.)	Davon ins EU-Ausland?	Davon ins nicht EU-Ausland?
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl
Text	Zahl	☐Ja	☐Nein	☐Ja	☐Nein	Prozentzahl	Text	Zahl	Zahl	Text	Text	Prozentzahl	Prozentzahl

Abbildung 138: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 8

6 Post-Schredder-Technologie						
Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %	
Mineralien (z.B. Sand, Steine) „nicht differenzierbar“	19 12 09	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text	
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text	
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess				
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %	
Erzeugnisse für sonstige Verwendung (z.B. Deponiebau, Sportplatzbau, Lärmschutzwände)	19 12 09 05	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text	
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text	
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess				
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

Abbildung 139: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 9

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Kupfer, Bronze, Messing	17 04 01	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Aluminium	17 04 02	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl

Abbildung 140: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 10

7 Nutzen Sie die folgenden ASN, wenn ja geben Sie bitte an welche Menge und wofür? Beachten Sie die Auswahlmöglichkeit in der letzten Zeile jeder Rubrik.						
Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %	
andere Fraktionen, die gefährliche Stoffe enthalten	19 10 05*	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text	
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text	
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess				
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Diese ASN wird für Altfahrzeuge genutzt		☐Ja		☐Nein		

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %	
andere Fraktionen, mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 10 05* fallen	19 10 06	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text	
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text	
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess				
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Diese ASN wird für Altfahrzeuge genutzt		☐Ja		☐Nein		

Abbildung 141: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 11

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Eisen und Stahl	17 04 05	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Diese ASN wird für Altfahrzeuge genutzt		☐Ja		☐Nein		

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Gemischte Metalle	17 04 07	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Diese ASN wird für Altfahrzeuge genutzt		☐Ja		☐Nein		

Abbildung 142: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 12

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Metallabfälle, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind	17 04 09 *	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Diese ASN wird für Altfahrzeuge genutzt		☐Ja		☐Nein		

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Nichteisenmetalle	20 01 40	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Diese ASN wird für Altfahrzeuge genutzt		☐Ja		☐Nein		

Abbildung 143: Fragebogen Schredderbetriebe Teil 13

Bezeichnung	ASN	Gesamte Menge in 1000 kg	Stoffliche Verwertung in %	Energetische Verwertung in %	Beseitigung in %
Erzeugnisse für sonstige Verwendung (z.B. Deponiebau, Sportplatzbau, Lärmschutzwände)	19 12 09 05	Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Davon ins nicht EU-Ausland?		Zahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Endverbleib in Deutschland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Endverbleib im Ausland (Branche: z.B.: Stahlwerke, Bergversatz etc.)			Text	Text	Text
Aus welchem Anlagenprozess stammen diese Fraktionen?		Anlagenprozess			
Woraus setzt sich diese Fraktion zusammen? Bitte zählen Sie die Hauptbestandteile auf (z.B. FE-Metalle, NE-Metalle, Mineralische Fraktion)		Stofffraktion I	Stofffraktion II	Stofffraktion III	Stofffraktion IV	Stofffraktion V
Wie hoch ist der Massenanteil am gesamten Schredderoutput?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Wie hoch ist schätzungsweise der Metallanteil in dieser Fraktion?		Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl	Prozentzahl
Diese ASN wird für Altfahrzeuge genutzt		☐Ja		☐Nein		

7.3 Anhang C - Handlungsanleitung für Demontagebetrieb 1 Schredderanlage 1

Ressortforschungsplan-Vorhaben

„Fortschreibung der Methodik zum Quotenmonitoring für Altfahrzeuge“

Übersicht

Ziel und Aufgabe

Ziel des Vorhabens ist die Aktualisierung der Datengrundlagen für das Monitoring der Altfahrzeugverwertungsquoten nach der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG auf nationaler Ebene und die Verbesserung der Datenqualität. Dazu wird schwerpunktmäßig eine repräsentative Schredder- bzw. Verwertungskampagne nach Kommissions-Entscheidung 2005/293/EG1 durchgeführt.

Erhebung von Kennzahlen

- Durchschnittsalters der Altfahrzeuge
- Die Aufteilung - in stoffliche und energetische Verwertung bzw. - in Metall- und Nichtmetallanteil für ausgewählte bestimmte Bauteile und Materialien (z.B. Betriebsflüssigkeiten, Verbundwerkstoffe)
- Outputströme der Demontagebetriebe, die aus dem Altfahrzeug stammen und quotenrelevant sind (z.B. nicht: verunreinigte Putzlappen)

Demontage

Zusammenfassung

- Es müssen insgesamt 500 Fahrzeuge unterteilt in 4 Schichten demontiert werden:

Schichtzuordnung eingehende Altfahrzeuge an der Demontageanlage:

165 x Schicht 1 (S1): < 1000 kg

165 x Schicht 2 (S2): 1000 kg – 1.250 kg

165 x Schicht 3 (S3): > 1.250 kg

5 x Schicht 4 (S4): gewogenes Fahrzeugleergewicht 30 % unter Leergewicht lt. Fahrzeugbrief (z.B. durch fehlenden Motor, Getriebe etc.)
(Abweichungen vermerken und Schicht 1 bis 3 nach Gewichtsklasse zuordnen)

Schichtzuordnung ausgehende Altfahrzeuge (Restkarossen) an der Demontageanlage:

100 x Schicht 1 (S1): eingehendes Altfahrzeug aus Schicht (S1) verbleibt in dieser Schicht, wenn das Gewicht nach der Demontage weniger als 30 % vom gemessenen Eingangsgewicht abweicht; sonst Zuordnung zu (S4);
Schicht (S1) bis 100 Altfahrzeuge auffüllen, ggf. mit weiteren eingehenden Altfahrzeugen dieser Größenklasse

100 x Schicht 2 (S2): eingehendes Altfahrzeug aus Schicht (S2) verbleibt in dieser Schicht, wenn das Gewicht nach der Demontage weniger als 30 % vom gemessenen Eingangsgewicht abweicht; sonst Zuordnung zu (S4));

Schicht (S2) bis 100 Altfahrzeuge auffüllen, ggf. mit weiteren eingehenden Altfahrzeugen dieser Größenklasse

100 x Schicht 3 (S3): eingehendes Altfahrzeug aus Schicht (S3) verbleibt in dieser Schicht, wenn das Gewicht nach der Demontage weniger als 30 % vom gemessenen Eingangsgewicht abweicht; sonst Zuordnung zu (S4));
Schicht (S3) bis 100 Altfahrzeuge auffüllen, ggf. mit weiteren eingehenden Altfahrzeugen dieser Größenklasse

200 x Schicht 4 (S4): Alle stark zustandsveränderte Altfahrzeuge (z.B. durch fehlenden Motor, Getriebe, Unfall etc.) aus den Schichten 1 bis 3 mit mehr als 30 % Gewichtsveränderung dieser Schicht zuordnen (bis 200 Altfahrzeuge erreicht sind)

Die Schichtzuordnung der ausgehenden Altfahrzeuge entspricht damit der Schichtzuordnung der an den Schredderanlagen eingehenden Restkarossen.

- Die ersten 40 Altfahrzeuge differenziert nach Schichten (10 x S1; 10 x S2; 10 x S3; 10 x S4) müssen detailliert dokumentiert werden.
  siehe Formblatt Demontage
- Die Gewichte der Flüssigkeiten, Ersatzteile, Wert- und Schadstoffe der restlichen Altfahrzeuge sollen sortiert nach Schichten (S1, S2, S3, S4) in Paketen von 30 Altfahrzeugen zusammengefasst werden.
- Eine Demontage über die Kunden ist zulässig, wenn

1. die Altfahrzeuge innerhalb des Kampagnenzeitraums erfasst und verwogen werden oder
2. sich die Altfahrzeuge vor der Kampagne im Bestand des Demontagebetriebs befanden und verwogen sowie die demontierten Bauteile erfasst wurden.

- Eine Fotodokumentation der eingehenden Fahrzeuge und der Restkarossen nach der Demontage muss durchgeführt werden. Die Fotos sollen in mittlerer Auflösung, offener Seitentür und Heckklappe und mit einem Blickwinkel angelehnt an das Beispiel im „Formblatt Demontagebetriebe“ erstellt werden.

Ablauf je Altfahrzeug

Das für die Demontage auszufüllende Formular „Formblatt Demontagebetriebe“ gleicht inhaltlich dem DB Formblatt. Es wurden noch zusätzliche Fraktionen hinzugefügt.

Folgende Daten müssen erfasst werden:

Charakterisierung des Altfahrzeugs

Dem Altfahrzeug muss eine fortlaufende Nummer zur eindeutigen Identifizierung des Fahrzeugs zugewiesen werden. Die Nummer muss auf dem Fahrzeug sichtbar und dauerhaft angebracht sein.

a) Fahrzeugidentifikationsnummer
b) Marke
c) Typ
d) Erstzulassung
e) Diesel oder Benziner
f) Unfallfahrzeug
g) Vollständigkeit
h) Fehlende Bauteile, unterschieden in metallische (Motor, Getriebe, Achsen etc.) und nichtmetallische Bauteile (Stoßfänger, Verkleidung etc.)
i) Leergewicht lt. Fahrzeugbrief

j) Leergewicht Eingang
k) Leergewicht Ausgang
l) Foto Eingang
m) Foto Ausgang
n) Verwertungsnachweis
o) Kundendemontage inklusive Abschätzung der demontierten Bauteile

Output

Der Verbleib der Stoffe, die den Demontagebetrieb verlassen, muss gegliedert werden nach:

- In-oder Ausland
- Verbleibsweg (übernehmendes Unternehmen)
- Verbleibzweck (stoffliche Verwertung, energetische Verwertung, Beseitigung)

1. Summe aller Abfallmengen/Stoffe
2. nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralbasis
3. nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis
4. synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
5. Heizöl und Diesel
6. Benzin
7. Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW, HFKW
8. Altreifen
9. Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten (Restkarossen)
10. Ölfilter
11. explosive Bauteile (z.B. Airbags)
12. Bremsflüssigkeiten
13. Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten
14. Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 14 fallen
15. Kunststoffe
16. Glas
17. metallische Bauteile/Ersatzteile
18. nicht metallische Bauteile/Ersatzteile
19. Bleibatterien
20. gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
21. zusätzliche Demontage von Platinen, Stellmotoren, Elektronik usw.

Datenerfassung

- Die Speicherung der fahrzeugspezifischen Daten muss in der Excel-Tabelle „Formblatt Demontagebetriebe“ erfolgen.
- Pro Formblatt werden die Daten von 30 Altfahrzeugen gespeichert.
- Zur Sicherung der Daten wird eine Dropbox eingerichtet. Zusätzlich werden die ausgefüllten Formblätter extern auf USB-Sticks gespeichert.
- Zur Klärung offener Fragen oder Problemen sowie zur eventuellen Optimierung des Ablaufs werden drei Besuche durchgeführt. Diese Besuche werden im Januar, Februar und März 2016 stattfinden. Die genauen Termine werden abgestimmt.

Der anschließende Schredderversuch wird Ende März 2016 durchgeführt. Die komplette Anzahl an Restkarossen muss bis dahin bei der Schredderanlage angekommen sein.

7.4 Anhang D - Handlungsanleitung für Demontagebetriebe 2 und 3 Schredderanlage 2

Ressortforschungsplan-Vorhaben

„Fortschreibung der Methodik zum Quotenmonitoring für Altfahrzeuge“

Übersicht

Ziel und Aufgabe

Ziel des Vorhabens ist die Aktualisierung der Datengrundlagen für das Monitoring der Altfahrzeugverwertungsquoten nach der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG auf nationaler Ebene und die Verbesserung der Datenqualität. Dazu wird schwerpunktmäßig eine repräsentative Schredder- bzw. Verwertungskampagne nach Kommissions-Entscheidung 2005/293/EG1 durchgeführt.

Erhebung von Kennzahlen

- Durchschnittsalters der Altfahrzeuge
- Die Aufteilung - in stoffliche und energetische Verwertung bzw. - in Metall- und Nichtmetallanteil für ausgewählte bestimmte Bauteile und Materialien (z.B. Betriebsflüssigkeiten, Verbundwerkstoffe)
- Outputströme der Demontagebetriebe, die aus dem Altfahrzeug stammen und quotenrelevant sind (z.B. nicht: verunreinigte Putzlappen)

Demontage

Zusammenfassung

- Es sollen insgesamt 250 Fahrzeuge unterteilt in 4 Schichten demontiert werden:

Schichtzuordnung eingehende Altfahrzeuge an der Demontageanlage:

83 x Schicht 1 (S1): < 1000 kg

83 x Schicht 2 (S2): 1000 kg – 1.250 kg

83 x Schicht 3 (S3): > 1.250 kg

1 x Schicht 4 (S4): gewogenes Fahrzeugleergewicht 30 % unter Leergewicht lt. Fahrzeugbrief (z.B. durch fehlenden Motor, Getriebe etc.)

(Abweichungen vermerken und Schicht 1 bis 3 nach Gewichtsklasse zuordnen)

Schichtzuordnung ausgehende Altfahrzeuge (Restkarossen) an der Demontageanlage:

50 x Schicht 1 (S1): eingehendes Altfahrzeug aus Schicht (S1) verbleibt in dieser Schicht, wenn das Gewicht nach der Demontage weniger als 30 % vom gemessenen Eingangsgewicht abweicht; sonst Zuordnung zu (S4);
Schicht (S1) bis 50 Altfahrzeuge auffüllen, ggf. mit weiteren eingehenden Altfahrzeugen dieser Größenklasse

50 x Schicht 2 (S2): eingehendes Altfahrzeug aus Schicht (S2) verbleibt in dieser Schicht, wenn das Gewicht nach der Demontage weniger als 30 % vom gemessenen Eingangsgewicht abweicht; sonst Zuordnung zu (S4));

Schicht (S2) bis 50 Altfahrzeuge auffüllen, ggf. mit weiteren eingehenden Altfahrzeugen dieser Größenklasse

50 x Schicht 3 (S3): eingehendes Altfahrzeug aus Schicht (S3) verbleibt in dieser Schicht, wenn das Gewicht nach der Demontage weniger als 30 % vom gemessenen Eingangsgewicht abweicht; sonst Zuordnung zu (S4));
Schicht (S3) bis 50 Altfahrzeuge auffüllen, ggf. mit weiteren eingehenden Altfahrzeugen dieser Größenklasse

100 x Schicht 4 (S4): Alle stark zustandsveränderte Altfahrzeuge (z.B. durch fehlenden Motor, Getriebe, Unfall etc.) aus den Schichten 1 bis 3 mit mehr als 30 % Gewichtsveränderung dieser Schicht zuordnen (bis 100 Altfahrzeuge erreicht sind)

Die Schichtzuordnung der ausgehenden Altfahrzeuge entspricht damit der Schichtzuordnung der an den Schredderanlagen eingehenden Restkarossen.

- Die ersten 40 Altfahrzeuge differenziert nach Schichten (10x S1; 10x S2; 10x S3; 10x S4) müssen detailliert dokumentiert.
  siehe Formblatt Demontage
- Die Gewichte der Flüssigkeiten, Ersatzteile, Wert- und Schadstoffe der restlichen Altfahrzeuge sollen sortiert nach den Gewichtsgruppen (S1, S2, S3, S4) in Paketen von 30 Altfahrzeugen zusammengefasst werden.
- Eine Demontage über die Kunden ist nur bei den in der Kampagne verwogenen Altfahrzeugen zulässig. Altfahrzeuge, die sich vor der Kampagne im Bestand des Demontagebetriebs befanden, dürfen nicht demontiert werden.
- Eine Fotodokumentation der eingehenden Fahrzeuge und der Restkarossen nach der Demontage muss durchgeführt werden. Die Fotos sollen in mittlerer Auflösung, offener Seitentür und Heckklappe und mit einem Blickwinkel angelehnt an das Beispiel im „Formblatt Demontagebetriebe“ erstellt werden.

Ablauf je Altfahrzeug

Das für die Demontage auszufüllende Formular „Formblatt Demontagebetriebe“ gleicht inhaltlich dem DB Formblatt. Es wurden noch zusätzliche Fraktionen hinzugefügt.

Folgende Daten müssen erfasst werden:

Charakterisierung des Altfahrzeugs

Dem Altfahrzeug muss eine fortlaufende Nummer zur eindeutigen Identifizierung des Fahrzeugs zugewiesen werden. Die Nummer muss auf dem Fahrzeug sichtbar und dauerhaft angebracht sein.

Restkarossen der ausgehenden Fahrzeuge (S1, S2, S3, S4) müssen zusätzlich eindeutig markiert werden (z.B. roter, grüner, blauer, gelber Kreis um fortlaufende Nummer).

a) Fahrzeugidentifikationsnummer
b) Marke
c) Typ
d) Erstzulassung
e) Diesel oder Benziner
f) Unfallfahrzeug
g) Vollständigkeit
h) Fehlende Bauteile, unterschieden in metallische (Motor, Getriebe, Achsen etc.) und nichtmetallische Bauteile (Stoßfänger, Verkleidung etc.)
i) Leergewicht lt. Fahrzeugbrief

j) Leergewicht Eingang
k) Leergewicht Ausgang
l) Foto Eingang
m) Foto Ausgang
n) Verwertungsnachweis
o) Kundendemontage inklusive Abschätzung der demontierten Bauteile

Output

Der Verbleib der Stoffe, die den Demontagebetrieb verlassen muss gegliedert nach:

- In-oder Ausland
- Verbleibsweg (übernehmendes Unternehmen)
- Verbleibzweck (stoffliche Verwertung, energetische Verwertung, Beseitigung)

1. Summe aller Abfallmengen/Stoffe
2. nichtchlorierte Hydrauliköle auf Mineralbasis
3. nichtchlorierte Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle auf Mineralölbasis
4. synthetische Maschinen-, Getriebe- und Schmieröle
5. Heizöl und Diesel
6. Benzin
7. Fluorchlorkohlenwasserstoffe, HFCKW, HFKW
8. Altreifen
9. Altfahrzeuge, die weder Flüssigkeiten noch andere gefährliche Bestandteile enthalten (Restkarossen)
10. Ölfilter
11. explosive Bauteile (z.B. Airbags)
12. Bremsflüssigkeiten
13. Frostschutzmittel, die gefährliche Stoffe enthalten
14. Frostschutzmittel mit Ausnahme derjenigen, die unter 16 01 14 fallen
15. Kunststoffe
16. Glas
17. metallische Bauteile/Ersatzteile
18. nicht metallische Bauteile/Ersatzteile
19. Bleibatterien
20. gebrauchte Katalysatoren, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind
21. zusätzliche Demontage von Platinen, Stellmotoren, Elektronik usw.

Datenerfassung

- Die Speicherung der fahrzeugspezifischen Daten muss in der Excel-Tabelle „Formblatt Demontagebetriebe“ erfolgen.
- Pro Formblatt werden die Daten von 30 Altfahrzeugen gespeichert.
- Zur Sicherung der Daten wird eine Dropbox eingerichtet. Zusätzlich werden die ausgefüllten Formblätter extern auf USB-Sticks gespeichert.
- Zur Klärung offener Fragen oder Problemen sowie zur eventuellen Optimierung des Ablaufs werden drei Besuche durchgeführt. Diese Besuche werden im Januar, Februar und März 2016 stattfinden. Die genauen Termine werden abgestimmt.

Der anschließende Schredderversuch wird Ende März 2016 durchgeführt. Die komplette Anzahl an Restkarossen muss bis dahin bei der Schredderanlage angekommen sein.

7.5 Anhang E - Handlungsanleitung Schredderversuch Schredderanlage 1

7.5.1 Ziel und Aufgabe

Ziel des Vorhabens ist die Aktualisierung der Datengrundlagen für das Monitoring der Altfahrzeugverwertungsquoten nach der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG auf nationaler Ebene und die Verbesserung der Datenqualität. Dazu ist schwerpunktmäßig eine repräsentative Schredder- bzw. Verwertungskampagne nach Kommissions-Entscheidung 2005/293/EG1 zu konzipieren und durchzuführen. Daneben sind weitere Annahmen zu überprüfen und zu aktualisieren.

Begleitend zu der Schredderkampagne sind ausgewählte Analysen der Outputfraktionen von Schredderanlagen durchzuführen, um daraus bestehende Verbesserungspotenziale für eine hochwertige Verwertung von Altfahrzeugen und Schredderrückständen erschließen zu können.

7.5.2 Erhebung von Kennzahlen

- Bilanz Restkarossen
- Anteil der Schredderleichtfraktion
- Verbleibswege der Schredderleichtfraktion
- Anteil des Metallgehalts
- Verbleibswege der Metallfraktionen

7.5.3 Schreddern

7.5.3.1 Zusammenfassung

- Der Schredderversuch ist als ein Monoversuch durchzuführen.
- Es werden ausschließlich die nummerierten Restkarossen genutzt.
- Eine Fotodokumentation und Verwiegung der Restkarossen am Eingang ist durchzuführen.
- Die Schredderanlage ist vor Durchführung zu reinigen.
- Es ist eine stabile Fahrweise zu realisieren.
- Es ist eine Stichprobe von mindestens 150 Restkarossen nötig.
- Es wird eine Aufteilung der Stichprobe auf:
    1. Schicht 1 (< 1.000 kg): 29 % entspr. 44 Restkarossen
    2. Schicht 2 (1.000 kg – 1.250 kg): 16 % entspr. 24 Restkarossen
    3. Schicht 3 (> 1.250 kg): 34 % entspr. 51 Restkarossen
    4. Schicht 4 (zustandsverändert): 21 % entspr. 31 Restkarossen
    5. empfohlen.
- Dies ist der minimale Strichprobenumfang pro Schicht für die notwendige statistische Aufbereitung. Wenn die für den stabilen Anlagenbetrieb notwendige Stichprobe von 300 statt 150 erreicht wird, liegt die höchste Genauigkeit vor, wenn diese 300 genau nach den Prozentzahlen verteilt werden. Dies ist aber in der Realität schwer zu erreichen und nicht zwingend notwendig. Es ist ausreichend, wenn mindestens die oben genannte Anzahl an Fahrzeugen erreicht wird. Die restlichen Fahrzeuge können verteilt werden.

7.5.3.2 Probennahme und Analyse

1. Stahlschrott (Sorte 4)
2. Mischmetalle nach Handklaubung
3. Schredderschwerfraktion; feinste Fraktion nach Aufbereitung (Doppelprobe)
4. Schredderleichtfraktion; vor Aufbereitung (Doppelprobe)

7.5.3.3 Dokumentation des Schredderversuchs

Die Aufbereitung der Restkarossen in der Schredderanlage muss dokumentiert und die Gewichte des Outputs festgehalten werden. Das für die Schredderbetreiber auszufüllende Formular gleicht inhaltlich dem SHR Formblatt.

7.5.4 Entwicklung des Probennahmekonzepts

7.5.4.1 Einleitung und Zielstellung

Ziel der eigenen Analysen in diesem Vorhaben ist es, qualitative und quantitative Aussagen zu den verwerteten Wertstoffen und Wertstoffverluste der verschiedenen Entsorgungswege zu erlangen und für die Bilanzierung zu nutzen. Die Probennahme ist gemäß LAGA PN 98 durchzuführe werden, die Probennahmestellen und die durchzuführende Analytik sind im Projekt fest vorgeschrieben. Das aufgrund der erkennbaren Inhomogenitäten der zu untersuchenden Materialien bei der Schredderleichtfraktion (SLF) und der Schredderschwerfraktion (SSF) angebotene Alternativkonzept wurde akzeptiert. Dieses beinhaltet die Entnahme von drei Mischproben und deren doppelter Untersuchung.

Das Probennahmekonzept ermöglicht eine Aussage über die Güte der Probennahme (praktischer Repräsentativitätstest; E-DIN 19698 Teil 2 (2015) und erhöht gleichzeitig die Aussagensicherheit (Verringerung der Messunsicherheit) der ermittelten Mittelwerte im Vergleich zur ursprünglich ausgeschriebenen Variante (siehe Beispiel in Anlage 2).

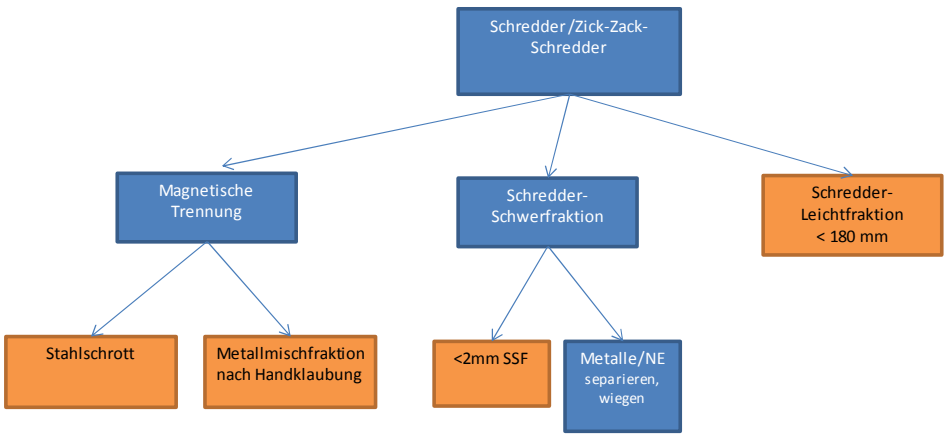
Hinweis: Die Probenaufbereitung im Untersuchungslabor ist in entsprechenden Normen geregelt und nicht Gegenstand des Probennahmekonzeptes.

Probennahmen sind in der Schredderanlage 1 und Schredderanlage 2 durchzuführen. Die Anlage der Schredderanlage 1 wurde im Vorfeld der Planung am 27.10.2015 und am 18.04.2016 besichtigt, die Anlage der Schredderanlage 2 am 07.03.2016.

7.5.4.2 Vorgesehener Untersuchungsumfang

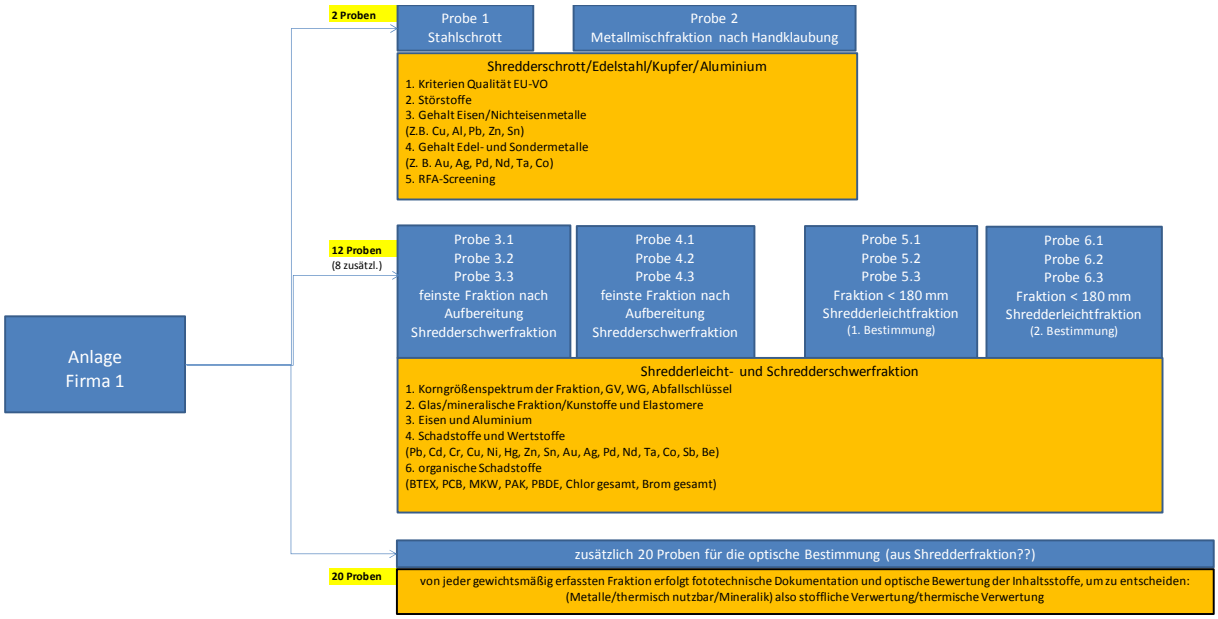
In beiden Schredderanlagen ist der gleiche Untersuchungsumfang vorgesehen, mit Ausnahme der Anzahl der optischen Bestimmungen. In Abbildung 144 zeigt vereinfacht den zu untersuchenden Materialfluss in den Recyclinganlagen. Die orange hinterlegten Kästchen sind die Probennahmestellen für die durchzuführende chemische Analyse.

Abbildung 144: Vereinfachtes Schema Probennahmestellen im Recycling-Prozess



Die Analysenparameter je Probennahmestelle sind in Abbildung 145 dargestellt.

Abbildung 145: Bezeichnung der Probennahmestellen des Alternativkonzeptes Schredderanlage 1



7.5.5 Beschreibung der Probennahmestellen und der Probenmatrix

7.5.5.1 Schredderanlage 1

Bei der Ortsbegehung am 27.10.2015 und am 18.04.2016 wurden die Möglichkeiten der Beprobung und die Matrixart (Stückigkeit, Zusammensetzung) der Probennahmestellen inspiziert, um für die Probennahmeplanung die notwendigen Aussagen zur Probenentnahme, der Anzahl und Größe der Einzelproben und die Größe der Laborprobe festlegen zu können.

Abbildung 146: Probennahmestelle 1 (Shredderanlage 1) Stahlprodukt



Bildquelle: Wessling

In dem Kondirator (Schredder) werden die Karossen auf < 180 mm zerkleinert. Mittels Magnetabscheider wird das Stahlprodukt separiert und mittels Förderband auf einem Haufen abgeworfen (Abbildung 146). Aufgrund des Gewichtes ist eine Probennahme aus dem Fallstrom nicht möglich. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die Abwurfstelle des Bandes zu variieren. Auf diese Art und Weise

kann ein separates kleineres Haufwerk für die Probennahme erzeugt werden. Das zu beprobende Stahlprodukt ist in Abbildung 147 abgebildet.

Abbildung 147: Aussehen Stahlprodukt an der Probennahmestelle 1 (Schredderanlage 1)



Bildquelle: Wessling

Die Nichteisenmetalle (z. B. Cu in Motorwicklungen) und Textilien/Kunststoffe werden über ein schnell laufendes Förderband per Handklaubung entnommen und in zwei Container geworfen. In Abbildung 148 ist die Öffnung der Container zu erkennen. Hier können nur die Container beprobt werden. Denkbar wäre auch eine Teilseparierung in kleine Zwischenbehälter, wie die des Personals der der Handklaubung, womit die Beprobung der Container vermieden werden kann. Hier ist aus beiden Behältern eine Mischprobe zu erstellen. Es ist dabei das Gewicht beider Fraktionen zu erfassen.

Abbildung 148: Probennahmestelle 2 (Schredderanlage 1) Handklaubung mit Öffnung der Abwurfbehälter



Bildquelle: Wessling

Die Probennahmestelle (Probe 3) für den Feinanteil der Schredderschwerfraktion befindet sich in der Nachbereitungsanlage und ist in Abbildung 149 abgebildet, die Konsistenz des Probenmaterials in Abbildung 150.

Achtung:

Hier werden 3 unabhängige Labormischproben der Schredderschwerfraktion entnommen!

Abbildung 149: Probennahmestelle Probe 3 (Schredderanlage 1) Schredderschwerfraktion < 2 mm nach Aufbereitung



Bildquelle: Wessling

Abbildung 150: Probenmatrix Probe 3 (Schredderanlage 1) Schredderschwerfraktion < 2 mm nach Aufbereitung



Bildquelle: Wessling

Abbildung 151: Probennahmestelle Probe 4 (Schredderanlage 1) Schredderleichtfraktion < 180 mm



Bildquelle: Wessling

Abbildung 152: Probenmatrix Probe 4 (Schredderanlage 1) SLF < 180 mm



Bildquelle: Wessling
Die Schredderleichtfraktion ist am Ort ihres Anfalls in der Körnung < 180 mm zu beproben (Bildquelle: Wessling Abbildung 151). In Bildquelle: Wessling

Abbildung 152 ist die Matrix dargestellt. Neben der Mineralik sind sowohl noch Metallteile als auch Nichteisenmetallteile in größeren Stücken enthalten. Als d95 werden 120 mm vom Anlagenbetreiber geschätzt.

7.5.5.2 Probennahmestellen für die optische Bestimmung bei Schredderanlage 1

Die Schredderanlage 1 hat ca. 130 Anfallstellen für bestimmte Fraktionen im Recyclingprozess für die optische Bestimmung/Fotodokumentation benannt. Diese Stellen sind am Tage der Probennahme vom Anlagenbetreiber vorzugeben.

Hinweis: Die Schredderanlage 1 erfasst sämtliche Massenanteile im gesamten Versuchsprozess.

7.5.6 Konzept und Probennahmeplan für die Beprobung

Ziel der Probennahme ist die Entnahme von repräsentativen Proben. Repräsentativ bedeutet, dass die Aussagen, die aus den Analysenresultaten der untersuchten Proben abgeleitet werden, im Wesentlichen die zu untersuchende Grundmenge widerspiegeln. Da bei Abfällen die Repräsentativität nicht immer gesichert werden kann, spricht man auch von abfallcharakterisierender Probennahme (LAGA PN 98 2001), wenn vereinbarte Vorgaben eingehalten werden. Notwendige Aussagen im Probennahmekonzept/Probennahmeplan sind:

- Ziel der Probennahme und Angabe der zu untersuchenden Parameter
- Bezeichnung der Probennahmestelle und örtliche Gegebenheiten
- Arbeitsschutzmaßnahmen
- Größe und Art der Grundmenge gegebenenfalls Separierungen
- Ungefähre Masse und Anzahl der Einzelproben und Laborproben
- Für die Probennahme verwendete Geräte
- Verfahren der Probennahme und der Probenteilung
- Kennzeichnung und Verpackung der Proben
- Transport in das Untersuchungslabor
- Vorschrift zur Dokumentation der Probennahme (Probennahmeprotokoll)

Die Beprobung soll sich an die Vorgehensweise der LAGA PN 98 (2001) orientieren bzw. an speziellen Normen für die Probenmatrix.

7.5.6.1 LAGA PN98

Die Probennahme nach LAGA PN98 (2001) ist bei Abfallbeprobungen in der DepV[45] vorgeschrieben. Die LAGA PN 98 beschreibt die Entnahme von Proben aus Haufwerken, bewegten Abfallströmen und Container, Big Bags. Bei Haufwerken erfolgt eine Einteilung in Sektoren und die Beprobung der einzelnen Sektoren. Die Anzahl der Sektoren, die Anzahl der Einzelproben sowie das Volumen von Einzel- und Laborprobe sind wie in Tabelle 191 dargestellt vorgeschrieben. Die erforderliche Zahl der Einzelproben für jede Laborprobe aus einem Sektor wurde dabei auf 4 festgelegt.

Nach dem LAGA-Konzept sind beispielsweise bei einer Grundmenge von 500 m3 9 Sektoren zu bilden, aus jedem Sektor eine Mischprobe aus 4 Einzelproben zu erstellen und schließlich die 9 Mischproben als 9 Laborproben zu überführen.

Tabelle 191: Auszug Mindestanzahl der Einzel-/Misch- und Laborproben in Abhängigkeit vom Volumen der Grundmenge nach LAGA PN98

Volumen der Grundmenge	Anzahl der Einzelproben	Anzahl der Mischproben	Anzahl der Sammelproben	Anzahl der Laborproben
Bis 30 m³	8	2	Keine	2
Bis 60 m³	12	3	Keine	3

[45] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27. April 2009 (BGBl. I Nr. 22, S. 900) zuletzt geändert 2.5.2913 (DepV)

Volumen der Grundmenge	Anzahl der Einzel-proben	Anzahl der Misch-proben	Anzahl der Sam-melproben	Anzahl der Labor-proben
Bis 100 m³	16	4	Keine	4
Bis 150 m³	20	5	Keine	5
Bis 200 m³	24	6	Keine	6
Bis 300 m³	28	7	Keine	7
Bis 400 m³	32	8	Keine	8
Bis 500 m³	36	9	Keine	9
Bis 600 m³	40	10	Keine	10
Bis 700 m³	44	10+(1)	1	11
Bis 800 m³	48	10+(2)	1	11
Bis 900 m³	52	10+(3)	1	11
Bis 1000 m³	56	10+(4)	2	12
Bis 1100 m³	60	10+(5)	2	12
Bis 1200 m³	64	10+(6)	2	12
		Je angefangene 100 m³	Je angefangene 300 m³	Je angefangene 300 m³
		Je eine Michprobe	Je eine Sammel-probe	Je eine Laborprobe

In der LAGA PN98 werden die Mindestvolumina der Einzel- und Mischproben entsprechend Tabelle 192 vorgeschrieben. Dabei ist die Korngröße entscheidend. Hierbei ist als maximale Korngröße der d_{95} gemeint, das 95 %-Perzentil der vorgefundenen Teilchengröße. Das bedeutet, dass 95 % der Teilchen kleiner sind, als d95. Damit wird vermieden, dass nicht wenige einzelne Teilchengrößen das Mindest-volumen bestimmen können.

Tabelle 192: Mindestvolumen der Einzel- und Laborprobe In Abhängigkeit von der Korngröße/ Stückigkeit nach LAGA PN98

Maximale Korngröße/Stückigkeit (mm)	Mindesvolumen der Einzelprobe (in l)	Mindesvolumen der Laborprobe (in l)
<= 2	0,5	1
> 2 bis <= 20	1	2
> 20 bis <= 50	2	4
> 50 bis <= 120	5	10
> 120	Stück=Einzelprobe	Stück=Einzelprobe

Anhand der Tabelle 192 wird ersichtlich, dass die Anwendung der LAGA PN98 aufgrund der Stückigkeit < 180 mm, also > 120 mm, so nicht sinnvoll ist. Da jedoch die Schredderleichtfraktion mit einem d95 von 120 mm eingeschätzt wird, kann die entsprechende Zeile der Tabelle 192 für die Mindestvolumina benutzt werden.

7.5.6.2 E DIN 19698 Teil 2

Da pro Probennahmestelle prinzipiell mit ähnlichen Inhaltsstoffen gerechnet wird, wird hier der statistikbasierte Ansatz des Anhangs der LAGA PN98 angewendet. Ziel ist die Ermittlung einer Durchschnittseigenschaft. Es interessiert nicht die segmentorientierte Charakterisierung für unterschiedliche Entsorgungswege. Aus diesem Grund eignet sich für diesen Zweck die Norm für die Probennahme zur Ermittlung der integralen Eigenschaft (Durchschnitts), die aus dem statistikbasierten Ansatz der LAGA PN 98 entwickelt wurde.

Bei der Anwendung dieser Norm ist die Anzahl der Einzelproben vorzugeben und die Volumina von Einzel- und Laborprobe.

7.5.7 Probennahmeplan

Das Probennahmekonzept ist immanenter Bestandteil des Probennahmeplans, da es über den Probennahmeplan hinaus wichtige Informationen enthält. Er ist den Probennehmern im Vorfeld vorzulegen und zu besprechen. Bei der Probennahmedurchführung erhält der Probenehmer Unterstützung durch das Anlagenpersonal.

Zweck der Probennahme

Zweck der Probennahme ist die Charakterisierung der Durchschnittseigenschaft der einzelnen Stofffraktionen im Schredderprozess. Die Analytik ist in Tabelle 194 und Tabelle 195 aufgeführt. Es werden Metall- und Elementgehalte, sowie organische Parameter ermittelt. Neben der klassischen Laboranalytik kommt die mobile RFA zur Bestimmung von Eisen und Nichteisenmetalle zum Einsatz.

Bezeichnung der Probennahmestellen und Beschreibung der örtlichen Gegebenheiten

Detaillierte Beschreibungen der örtlichen Gegebenheiten der einzelnen Probennahmestellen befinden sich in dem Abschnitt 7.5.5. Die Angaben zum Volumen der Einzelproben und Anzahl von Einzelproben und Volumen und Anzahl der in das Labor zu überführenden Proben sind der Tabelle 193 zu entnehmen.

Schredderanlage 1

Nachfolgend genannte Stellen sind zu beproben (die Anzahl der Laborproben- nicht Analysenproben sind in Tabelle 193 aufgeführt):

Probennahmestelle 1: Stahlprodukt

Probennahmestelle 2: Metallmischfraktion (Cu-Fe) nach der Handklaubung

Probennahmestelle 3: Schredderleichtfraktion < 180 mm (3.1, 3.2, 3.3)

Probennahmestelle 4: Schredderschwerfraktion < 2 mm (4.1, 4.2, 4.3)

Wichtig: Für die PN-Stellen 3 und 4 sind jeweils 3 repräsentative Mischproben ins Labor zu überführen.

Arbeitsschutzmaßnahmen

Die Probennehmer sind vor Beginn der Arbeiten durch einen verantwortlichen der Schredderanlagen zu unterweisen und haben bei ihren Tätigkeiten den Anweisungen Folge zu leisten.

Für die Probennnahme verwendete Geräte, Verfahren der Probennahme und der Probenteilung

- Die Proben Stahlprodukt und Material nach der Handklaubung können nur händisch beprobt werden unter Bereitstellung von Technik vor Ort (Stahlhaufen zugänglich machen).
- Für die Schredderleichtfraktion empfiehlt sich der Edelstahlspaten
- Die Schredderschwerfraktion kann mittels Probenstecher bebrobt werden.
- Die Probenteilung erfolgt i.d.R. mit dem Teilungskreuz. Die Laborproben für Sorte 4/Stahlprodukt sowie die Metallmischfraktion nach der Handklaubung werden auf Grund der Stückigkeit durch eine massenproportionale händische Entnahme zusammengestellt.

Kennzeichnung und Verpackung der Proben

Die Proben werden durch die Probennahmestelle und der vorgegebenen Probennummer eindeutig gekennzeichnet, in 10 L PE-Eimer verpackt und in das Untersuchungslabor überführt.

Probennahmeprotokoll

Die Probennahme ist im Probennahmeprotokoll nach LAGA PN98 (2001) zu dokumentieren. Es sind Fotos als Anlage dem Protokoll beizufügen.

Größe und Art der Grundmenge gegebenenfalls Separierungen

Je Schredderkampagne werden 500 Altautos geschreddert. Die 500 t Material gliedern sich ca. in folgende Teilströme:

Stahlprodukt: 200 - 325 t mit Körnung < 180 mm

Schredderschwerfraktion: 50 t mit Körnung < 2 mm

Schredderleichtfraktion: 125 t mit Körnung < 180 mm

Angaben zur Masse und Anzahl der Einzelproben und Laborproben

Aus der durch den Anlagenbetreiber geschätzten Masse der Grundmenge und ihrer Körnung ergeben sich folgende Randbedingungen für die Anzahl und Größe der Einzelproben und dem Volumen der Laborprobe.

Die Dichte von Stahl liegt bei ca. 6 t/m3, SSF (< 2 mm) bei 1 t/m3, SLF bei 0,25 t/m3.

Tabelle 193: Angabe der Anzahl von Einzel- und Laborproben und Masse/Volumina

Proben-Nr.	Proben-bezeich-nung	Größt-korn d_{95} in mm	Größe der Grundmenge in t	Volumen der Grundmenge in m^3	Mindest-vo-lumen der Einzelprobe in l	Anzahl der Einzelpro-ben pro La-borprobe	Volumen der Labor-probe in l	Anzahl der ins Labor zu über-führenden Proben (La-borproben)
Probe 1 und 7	Fe-Fraktion (Stahlprodukt)	180	310	50	6	6	20	3 Teilproben
Probe 2 und 8	Metallmischfrak-tion nach Hand-klaubung	180	15	3	6	6	20	2 Teilproben
Probe 3.1/3.2/3.3 und 9.1/9.2/9.3	Feinanteil der Schredder-schwerfraktion	2	50	50	1	6	5	3 unabhängige Gesamtproben
Probe 4.1/4.2/4.3 und 10.1/10.2/10.3	Schredderleicht-fraktion (Maxi-malkorn 180 mm)	120	125	500	10	12	20	3 unabhängige Gesamtproben

Bei Stahlprodukt wird von d_{95} = 180 mm ausgegangen, SLF hat als Maximalkorn 180 mm, d_{95} beträgt nach Schätzungen ca. 120 mm. Im Labor erfolgt die weitere Probenvorbereitung der Teilproben, u. a. nach DIN 19747. Die Vorgabenwerte für das Volumen der Einzelproben erfolgten i. A. an die LAGA PN98 (2001) und E-DIN 19698 Teil 2 (2015). Das Konzept geht von der ausgeschriebenen Anzahl von 500 zu schreddernden Altfahrzeugen aus. Auch wenn weniger als die ausgeschriebene Anzahl von Altautos zum Einsatz kommen, werden die ermittelten notwendigen Probenanzahlen und –massen beibehalten. Dadurch erhöht sich die Repräsentativität der Ergebnisse.

Optische Bestimmung des Materials an 20 Anfallstellen

Die vorzugebenden Stellen werden fotodokumentiert. Es wird eine Nummerierung der Stellen empfohlen, um die Fotos den Stellen besser zuordnen zu können. Die Masse wird vom Anlagenbetreiber erfasst. Besonderheiten, die nicht im Foto erkennbar sind, werden im Probennahmeprotokoll dokumentiert. Vom Anlagenbetreiber sind die entsprechenden Stellen vorzugeben bzw. am Tag der Beprobung zuzuweisen.

Wichtiger Hinweis:

Es ist wichtig auf Grund der Größe und Komplexität des Schredderprozesses, bei der Protokollierung eine eindeutige Probenbezeichnung zu verwenden, damit jederzeit die Zuordnung zum Schredderprozess möglich ist.

7.5.8 Parameter für die Untersuchung

Gemäß Leistungsbeschreibung werden die in Tabelle 194 genannten Parameter untersucht.

Tabelle 194: Untersuchungsumfang Stahlprodukt/Metallmischfraktion nach Handklaubung

Parameter	Bemerkung
Ausgewählte Störstoffe	Wägung und Dokumentation
Gehalt Eisen/Nichteisenmetalle (z.B. Cu, Al, Pb, Zn, Sn)	mobile RFA
Gehalt Edel- und Sondermetalle (Z. B. Au, Ag, Pd, Nd, Ta, Co) Edelstahl	mobile RFA
RFA-Screening (für Aussagen über Vielfalt enthaltener Legierungen)	mobile RFA

Tabelle 195: Untersuchungsumfang Schredderfraktion

Parameter	Bemerkung
Abfallschlüssel	
Korngrößenspektrum	Wägung und Dokumentation
Glühverlust	Labor
Wassergehalt	Labor
Glas/Mineralik/Kunststoffe und Elastomere	Wägung und Dokumentation
Schadstoffe und Wertstoffe: Al, Fe, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Sn, Au, Ag, Pd, Nd, Ta, Co, Sb, Be	ICP nach Köwa
BTEX	Labor
PCB	Labor
MKW	Labor
PAK	Labor
Bromierte Flammschutzmittel	Labor
PBDE	Labor
Chlor gesamt	Labor
Brom gesamt	Labor
Evtl. RFA für Legierungsbestimmung separierter, bei der Zerkleinerung störender Metallteile	mobile RFA

7.6 Anhang F - Handlungsanleitung Schredderversuch Schredderanlage 2

7.6.1 Ziel und Aufgabe

Ziel des Vorhabens ist die Aktualisierung der Datengrundlagen für das Monitoring der Altfahrzeugverwertungsquoten nach der Altfahrzeug-Richtlinie 2000/53/EG auf nationaler Ebene und die Verbesserung der Datenqualität. Dazu ist schwerpunktmäßig eine repräsentative Schredder- bzw. Verwertungskampagne nach Kommissions-Entscheidung 2005/293/EG1 zu konzipieren und durchzuführen. Daneben sind weitere Annahmen zu überprüfen und zu aktualisieren.

Begleitend zu der Schredderkampagne sind ausgewählte Analysen der Outputfraktionen von Schredderanlagen durchzuführen, um daraus bestehende Verbesserungspotenziale für eine hochwertige Verwertung von Altfahrzeugen und Schredderrückständen erschließen zu können.

7.6.2 Erhebung von Kennzahlen

- Bilanz Restkarossen
- Anteil der Schredderleichtfraktion
- Verbleibswege der Schredderleichtfraktion
- Anteil des Metallgehalts
- Verbleibswege der Metallfraktionen

7.6.3 Schreddern

7.6.3.1 Zusammenfassung

- Der Schredderversuch ist als ein Monoversuch durchzuführen.
- Es werden ausschließlich die nummerierten Restkarossen genutzt.
- Eine Fotodokumentation und Verwiegung der Restkarossen am Eingang ist durchzuführen.
- Die Schredderanlage ist vor Durchführung zu reinigen.
- Es ist eine stabile Fahrweise zu realisieren.
- Es ist eine Stichprobe von mindestens 150 Restkarossen nötig.
- Es empfliehlt sich eine Aufteilung der Stichprobe auf:
    1. Schicht 1 (< 1.000 kg):29 % entspr. 44 Restkarossen
    2. Schicht 2 (1.000 kg – 1.250 kg): 16 % entspr. 24 Restkarossen
    3. Schicht 3 (> 1.250 kg):34 % entspr. 51 Restkarossen
    4. Schicht 4 (zustandsverändert): 21 % entspr. 31 Restkarossen
- Dies ist der minimale Strichprobenumfang pro Schicht. Wenn die geplante Stichprobe von 250 statt 150 erreicht wird, liegt die höchste Genauigkeit vor, wenn diese 250 genau nach den Prozentzahlen verteilt werden. Dies ist aber in der Realität schwer zu erreichen und nicht zwingend notwendig. Es ist ausreichend, wenn mindestens die oben genannte Anzahl an Fahrzeugen erreicht wird. Die restlichen Fahrzeuge können verteilt werden.

7.6.3.2 Probennahme und Analyse

1. Stahlschrott (Sorte 4)
2. Mischmetalle nach Handklaubung
3. Schredderschwerfraktion; feinste Fraktion nach Aufbereitung (Doppelprobe)
4. Schredderleichtfraktion; vor Aufbereitung (**Doppelprobe**)

7.6.3.3 Dokumentation des Schredderversuchs

Die Aufbereitung der Restkarossen in der Schredderanlage muss dokumentiert und die Gewichte des Outputs festgehalten werden. Das für die Schredderbetreiber auszufüllende Formular gleicht inhaltlich dem SHR Formblatt.

7.6.3.4 Datenerfassung

- Die Speicherung der Daten des Schredderversuchs muss in der Excel-Tabelle „Formblatt Schredderanlagee“ erfolgen.
- Der Schredderversuch wird am 19.05.2016 ab 07:00 Uhr durchgeführt.

7.6.3.5 Outputfraktionen

Folgende Fraktionen entstehen in der Aufbereitungsanlage und müssen dokumentiert werden:

Tabelle 196: Fe-Fraktion nach Schredder

Nr.	Produkt
1	Stahlprodukt Sorte 4
2	Cu-Fe Anker

Tabelle 197: Schredderschwerfraktion

Nr.	Produkt
3	Fe-Metall-Staub
4	Absieb
5	Mischmetalle M1
6	Mischmetalle M2
7	VA-Rest, klein
8	VA-Stahl
9	Messing
10	Kupfer
11	Mischmetalle M3/M4
12	VA-Rest, groß
13	Mischmetalle M3/M4
14	Platinen
15	Aluminium
16	Messing
17	Kupfer
18	VA-Stahl
19	Aluminium
20	Messing
21	Kupfer
22	Platinen
23	Fe-Metall

Tabelle 198: Schredderleichtfraktion

Nr.	Produkt
24	Staub
25	SLF, fein
26	SLF, grob
27	Mischmetalle
28	Sorte 4

7.6.4 Entwicklung des Probennahmekonzepts

7.6.4.1 Einleitung und Zielstellung

Ziel der eigenen Analysen in diesem Vorhaben ist es, qualitative und quantitative Aussagen zu den verwerteten Wertstoffen und Wertstoffverlusten der verschiedenen Entsorgungswege zu erlangen und für die Bilanzierung zu nutzen. Die Probennahme ist gemäß LAGA PN 98 durchzuführen, die Probennahmestellen und die durchzuführende Analytik sind im Projekt vorgegeben. Das aufgrund der erkennbaren Inhomogenitäten der zu untersuchenden Materialien bei der Schredderleichtfraktion (SLF) und der Schredderschwerfraktion (SSF) angebotene Alternativkonzept wurde akzeptiert. Dieses beinhaltet die Entnahme von drei Mischproben und deren doppelter Untersuchung.

Das Probennahmekonzept ermöglicht eine Aussage über die Güte der Probennahme (praktischer Repräsentativitätstest; E-DIN 19698 Teil 2 (2015)) und erhöht gleichzeitig die Aussagensicherheit (Verringerung der Messunsicherheit) der ermittelten Mittelwerte im Vergleich zur ursprünglich ausgeschriebenen Variante (siehe Beispiel in Anlage 2).

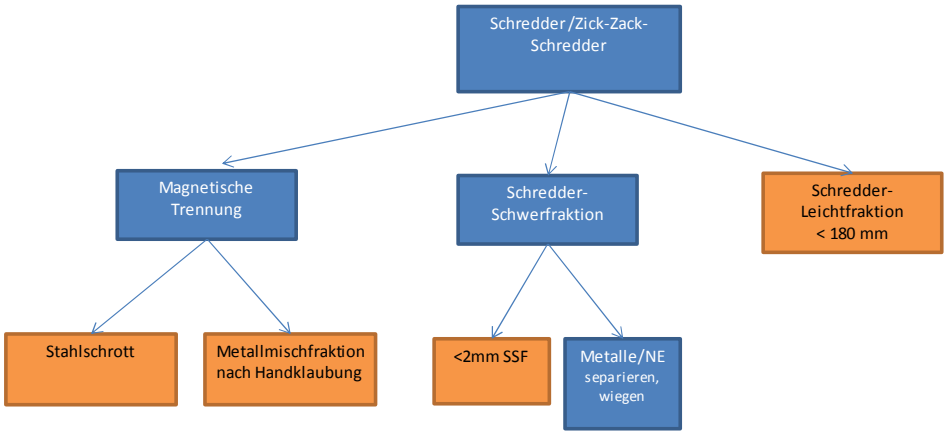
Hinweis: Die Probenaufbereitung im Untersuchungslabor ist in entsprechenden Normen geregelt und nicht Gegenstand des Probennahmekonzeptes.

Die Probennahmen sind in der Schredderanlage 1 und der Schredderanlage 2 durchzuführen. Die Anlage der Schredderanlage 1 wurde im Vorfeld der Planung am 27.10.2015 und am 18.04.2016 besichtigt, die Anlage der Schredderanlage 2 am 07.03.2016.

7.6.4.2 Vorgesehener Untersuchungsumfang

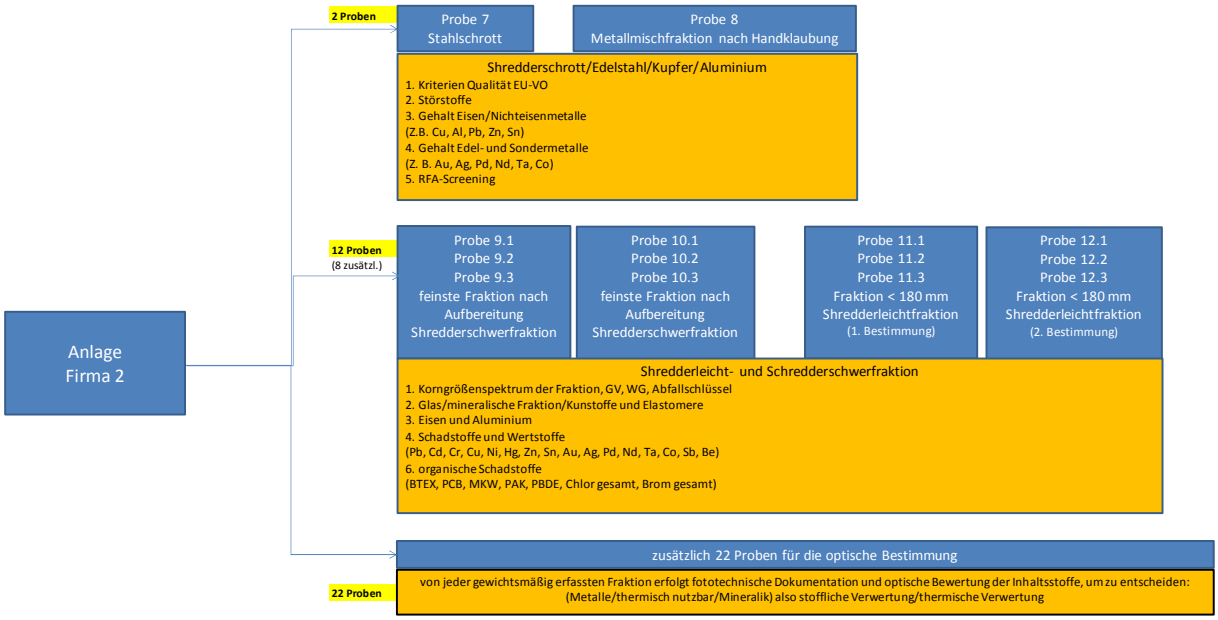
In beiden Schredderanlagen ist der gleiche Untersuchungsumfang vorgesehen, mit Ausnahme der Anzahl der optischen Bestimmungen. In Abbildung 153 zeigt vereinfacht den zu untersuchenden Materialfluss in den Recyclinganlagen. Die orange hinterlegten Kästchen sind die Probennahmestellen für die durchzuführende chemische Analyse.

Abbildung 153: Vereinfachtes Schema Probennahmestellen im Recycling-Prozess



Die Analysenparameter je Probennahmestelle sind in der Abbildung 154 dargestellt.

Abbildung 154: Bezeichnung der Probennahmestellen des Alternativkonzeptes Schredderanlage 2



7.6.5 Beschreibung der Probennahmestellen und der Probenmatrix in der Schredderanlage Schredderanlage 2

Bei der Ortsbegehung am 07.03.2016 wurden die Möglichkeiten der Beprobung und die Matrixart (Stückigkeit, Zusammensetzung) der Probennahmestellen inspiziert, um für die Probennahmeplanung die notwendigen Aussagen zur Probenentnahme, der Anzahl und Größe der Einzelproben und die Größe der Laborprobe festlegen zu können.

Abbildung 155: Probennahmestelle 1 (Schredderanlage 2) Stahlschrott/Sorte 4



Bildquelle: Wessling

In dem Zerdirator (Schredder) werden die Karossen auf < 150 mm zerkleinert. Mittels Magnetabscheider wird das Stahlprodukt separiert und mittels Förderband auf einem Haufen abgeworfen (Abbildung 155). Aufgrund des Gewichtes ist eine Probennahme aus dem Fallstrom nicht möglich. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die Abwurfstelle des Bandes zu variieren. Auf diese Art und Weise kann ein separates kleineres Haufwerk für die Probennahme erzeugt werden.

Die Nichteisenmetalle (z. B. Cu in Motorwicklungen) und Textilien/Kunststoffe werden über ein schnell laufendes Förderband per Handklaubung entnommen und in zwei Container geworfen. Hier werden die Container (siehe Abbildung 156) beprobt. Es ist dabei das Gewicht beider Fraktionen zu erfassen.

Abbildung 156: Probennahmestelle 2 (Schredderanlage 2) Cu-Fe nach Handklaubung



Bildquelle: Wessling

Die in Abbildung 157 dargestellte Schredderschwerfraktion kann aus dem Container 0-14 beprobt werden. Gemäß Leistungsbeschreibung ist daraus die Fraktion < 2 mm zu untersuchen.

Achtung: Hier werden 3 unabhängige Labormischproben Schredderschwerfraktion entnommen

Abbildung 157: Probenmatrix Probe 3 (Schredderanlage 2) Schredderschwerfraktion nach Aufbereitung



Bildquelle: Wessling

Abbildung 158: Beprobungsklappe (Wartungsluke Band SLF Band 2) für Fallstrom der Probennahmestelle Probe 4 (Schredderanlage 2) Schredderleichtfraktion < 180 mm



Bildquelle: Wessling

Abbildung 159: Probennahmestelle Probe 4 (Schredderanlage 2) Schredderleichtfraktion < 180 m



Bildquelle: Wessling
Die Schredderleichtfraktion wird in einer Siebtrommel in zwei verschiedene Fraktionen aufgeteilt und kann entweder vor der Aufteilung im Fallstrom am Band (Bildquelle: Wessling
Abbildung 158 und Bildquelle: Wessling

Abbildung 159) oder aus den für jede Fraktion existierenden Behältern entnommen werden. Für die erste Variante ist die Unterstützung durch den Anlagenbetreiber erforderlich. Außerdem muss bei der Fallstrombeprobung ein Probennehmer genau zum Zeitpunkt des Versuchs an dieser Probennahmestelle verfügbar sein. Favorisiert wird die Variante der Beprobung der Einzelfraktionen, die aus arbeitsschutztechnischen Gesichtspunkten als die geeignetere erscheint.

Achtung: Hier werden 3 unabhängige Labormischproben der Schredderleichtfraktion entnommen

Probennahmestellen für die optische Bestimmung bei der Schredderanlage 2

Bei der Schredderanlage 2 wurden die nachfolgend dargestellten 26 Stellen für die optische Bestimmung (Fotodokumentation) ausgewählt, um zusätzliche Informationen für stoffliche, energetische Verwertung/ Beseitigung zu erhalten:

Schredderschwerfraktion

1. Fe-Metall-Staub
2. Absieb
3. Mischmetalle M1
4. Mischmetalle M2
5. VA-Rest, klein
6. VA-Stahl
7. Messing
8. Kupfer
9. Mischmetalle M3/M4
10. VA-Rest, groß
11. Mischmetalle M3/M4
12. Platinen
13. Aluminium
14. Messing

Schredderleichtfraktion

22. Staub
23. SLF, fein
24. SLF, grob
25. Mischmetalle
26. Sorte 4

15. Kupfer
16. VA-Stahl
17. Aluminium
18. Messing
19. Kupfer
20. Platinen
21. Fe-Metall

Die hier mehrfach aufgeführten Fraktionen entstehen bei der Schredderanlage 2 an 3 Sortierbändern im Bereich der Schwerfraktionsaufbereitung, d.h. sie entstehen an unterschiedlichen Stellen auch aus unterschiedlichen (Zwischen-) Fraktionen. Konkret entstehen diese an den Sortierbändern für die

- sog. VA-Rest-Fraktion
- Mischmetalle
- Alufraktion

Die Sortierbänder sind jeweils den NE-Scheidern nachgeschaltet. Die Fraktionen werden allerdings im Anschluss jeweils an einem Lagerort zusammengefasst. Es ist erforderlich, bei der Beprobung die Stellen für die optische Bestimmung (Fotodokumentation) durch den Anlagen-betreiber den Probennehmer zuzuweisen.

7.6.6 Konzept und Probennahmeplan für die Beprobung

Ziel der Probennahme ist die Entnahme von repräsentativen Proben. Repräsentativ bedeutet, dass die Aussagen, die aus den Analysenresultaten der untersuchten Proben abgeleitet werden, im Wesentlichen die zu untersuchende Grundmenge widerspiegeln. Da bei Abfällen die Repräsentativität nicht immer gesichert werden kann, spricht man auch von abfallcharakterisierender Probennahme (LAGA PN 98 2001), wenn vereinbarte Vorgaben eingehalten werden. Notwendige Aussagen im Probennahmekonzept/Probennahmeplan sind:

- Ziel der Probennahme und Angabe der zu untersuchenden Parameter
- Bezeichnung der Probennahmestelle und örtliche Gegebenheiten
- Arbeitsschutzmaßnahmen
- Größe und Art der Grundmenge gegebenenfalls Separierungen
- Ungefähre Masse und Anzahl der Einzelproben und Laborproben
- Für die Probennahme verwendete Geräte
- Verfahren der Probennahme und der Probenteilung
- Kennzeichnung und Verpackung der Proben
- Transport in das Untersuchungslabor
- Vorschrift zur Dokumentation der Probennahme (Probennahmeprotokoll)

Die Beprobung soll sich an die Vorgehensweise der LAGA PN 98 (2001) orientieren bzw. an speziellen Normen für die Probenmatrix.

7.6.6.1 LAGA PN98

Die Probennahme nach LAGA PN98 (2001) ist bei Abfallbeprobungen in der DepV[46] vorgeschrieben. Die LAGA PN 98 beschreibt die Entnahme von Proben aus Haufwerken, bewegten Abfallströmen und

[46] Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27. April 2009 (BGBl. I Nr. 22, S. 900) zuletzt geändert 2.5.2913 (DepV)

Container, Big Bags. Bei Haufwerken erfolgt eine Einteilung in Sektoren und die Beprobung der einzelnen Sektoren. Die Anzahl der Sektoren, die Anzahl der Einzelproben sowie das Volumen von Einzel- und Laborprobe sind wie in Tabelle 199 dargestellt vorgeschrieben. Die erforderliche Zahl der Einzelproben für jede Laborprobe aus einem Sektor wurde dabei auf 4 festgelegt.

Nach dem LAGA-Konzept sind beispielsweise bei einer Grundmenge von 500 m3 9 Sektoren zu bilden, aus jedem Sektor eine Mischprobe aus 4 Einzelproben zu erstellen und schließlich die 9 Mischproben als 9 Laborproben zu überführen.

Tabelle 199: Auszug Mindestanzahl der Einzel-/Misch- und Laborproben in Abhängigkeit vom Volumen der Grundmenge nach LAGA PN98

Volumen der Grundmenge	Anzahl der Einzelproben	Anzahl der Mischproben	Anzahl der Sammelproben	Anzahl der Laborproben
Bis 30 m³	8	2	Keine	2
Bis 60 m³	12	3	Keine	3
Bis 100 m³	16	4	Keine	4
Bis 150 m³	20	5	Keine	5
Bis 200 m³	24	6	Keine	6
Bis 300 m³	28	7	Keine	7
Bis 400 m³	32	8	Keine	8
Bis 500 m³	36	9	Keine	9
Bis 600 m³	40	10	Keine	10
Bis 700 m³	44	10+(1)	1	11
Bis 800 m³	48	10+(2)	1	11
Bis 900 m³	52	10+(3)	1	11
Bis 1000 m³	56	10+(4)	2	12
Bis 1100 m³	60	10+(5)	2	12
Bis 1200 m³	64	10+(6)	2	12
		Je angefangene 100 m³	Je angefangene 300 m³	Je angefangene 300 m³
		Je eine Michprobe	Je eine Sammelprobe	Je eine Laborprobe

In der LAGA PN98 werden die Mindestvolumina der Einzel- und Mischproben nach Tabelle 199 vorgeschrieben. Dabei ist die Korngröße entscheidend. Hierbei ist als maximale Korngröße der d_{95} gemeint, das 95 %-Perzentil der vorgefundenen Teilchengröße. Das bedeutet, dass 95 % der Teilchen kleiner sind, als d_{95}. Damit wird vermieden, dass nicht wenige einzelne Teilchengrößen das Mindestvolumen bestimmen.

Tabelle 200: Mindestvolumen der Einzel- und Laborprobe In Abhängigkeit von der Korngröße/ Stückigkeit nach LAGA PN98

Maximale Korngröße/ Stückigkeit (mm)	Mindesvolumen der Einzelprobe (in l)	Mindesvolumen der Laborprobe (in l)
<= 2	0,5	1

Maximale Korngröße/ Stückigkeit (mm)	Mindesvolumen der Einzelprobe (in l)	Mindesvolumen der Laborprobe (in l)
> 2 bis <= 20	1	2
> 20 bis <= 50	2	4
> 50 bis <= 120	5	10
> 120	Stück=Einzelprobe	Stück=Einzelprobe

Anhand der Tabelle 200 wird ersichtlich, dass die Anwendung der LAGA PN98 aufgrund der Stückigkeit < 180 mm, also > 120 mm, so nicht sinnvoll ist. Da jedoch die Schredderleichtfraktion mit einem d_{95} von 120 mm eingeschätzt wird, kann die entsprechende Zeile der Tabelle 200 für die Mindestvolumina benutzt werden.

7.6.6.2 E DIN 19698 Teil 2

Da pro Probennahmestelle prinzipiell mit ähnlichen Inhaltsstoffen gerechnet wird, wird hier der statistikbasierte Ansatz des Anhangs der LAGA PN98 angewendet. Ziel ist die Ermittlung einer Durchschnittseigenschaft. Es interessiert nicht die segmentorientierte Charakterisierung für unterschiedliche Entsorgungswege. Aus diesem Grund eignet sich für diesen Zweck die Norm für die Probennahme zur Ermittlung der integralen Eigenschaft (Durchschnitts) (E-DIN 19698 Teil 2 2015), die aus dem statistikbasierten Ansatz der LAGA PN 98 entwickelt wurde.

Bei der Anwendung dieser Norm ist die Anzahl der Einzelproben vorzugeben und die Volumina von Einzel- und Laborprobe.

7.6.7 Probennahmeplan

Das Probennahmekonzept ist immanenter Bestandteil des Probennahmeplans, da es über den Probennahmeplan hinaus wichtige Informationen enthält. Er ist den Probennehmern im Vorfeld vorzulegen und zu besprechen. Bei der Probennahmedurchführung erhält der Probenehmer Unterstützung durch das Anlagenpersonal.

Zweck der Probennahme

Zweck der Probennahme ist die Charakterisierung der Durchschnittseigenschaft der einzelnen Stofffraktionen im Schredderprozess. Die Analytik ist in der Tabelle 202 und Tabelle 203 aufgeführt. Es werden Metall- und Elementgehalte, sowie organische Parameter ermittelt. Neben der klassischen Laboranalytik kommt die mobile RFA zur Bestimmung von Eisen und Nichteisenmetalle zum Einsatz.

Bezeichnung der Probennahmestellen und Beschreibung der örtlichen Gegebenheiten

Detaillierte Beschreibungen der örtlichen Gegebenheiten der einzelnen Probennahmestellen befinden sich im Kapitel 7.6.5. Die Angaben zum Volumen der Einzelproben und Anzahl von Einzelproben und Volumen und Anzahl der in das Labor zu überführenden Proben sind der Tabelle 201 zu entnehmen.

Schredderanlage 2:

Nachfolgend genannte Stellen sind zu beproben (die Anzahl der Laborproben- nicht Analysenproben sind in Tabelle 199 aufgeführt):

Probennahmestelle 7: Stahlprodukt

Probennahmestelle 8: Metallmischfraktion (Cu-Fe) nach der Handklaubung

Probennahmestelle 9: Schredderleichtfraktion < 180 mm (9.1, 9.2, 9.3)

Probennahmestelle 10: Schredderschwerfraktion < 2 mm (10.1, 10.2, 10.3)

Wichtig: Für die PN-Stellen 3 und 4 sind jeweils 3 **repräsentative Mischproben** ins Labor zu überführen.

Arbeitsschutzmaßnahmen

Die Probennehmer sind vor Beginn der Arbeiten durch einen verantwortlichen der Schredderanlagen zu unterweisen und haben bei ihren Tätigkeiten den Anweisungen Folge zu leisten.

Für die Probennahme verwendete Geräte, Verfahren der Probennahme und der Probenteilung

- Die Proben Stahlprodukt und Material nach der Handklaubung können nur händisch beprobt werden unter Bereitstellung von Technik vor Ort (Stahlhaufen zugänglich machen).
- Für die Schredderleichtfraktion empfiehlt sich der Edelstahlspaten
- Die Schredderschwerfraktion kann mittels Probenstecher bebrobt werden.
- Die Probenteilung erfolgt i.d.R. mit dem Teilungskreuz. Die Laborproben für Sorte 4/Stahlprodukt sowie die Metallmischfraktion nach der Handklaubung werden auf Grund der Stückigkeit durch eine massenproportionale händische Entnahme zusammengestellt.

Kennzeichnung und Verpackung der Proben

Die Proben werden durch die Probennahmestelle und der vorgegebenen Probennummer eindeutig gekennzeichnet, in 10 L PE-Eimer verpackt und in das Untersuchungslabor überführt.

Probennahmeprotokoll

Die Probennahme ist im Probennahmeprotokoll nach LAGA PN98 zu dokumentieren. Es sind Fotos als Anlage dem Protokoll beizufügen (LAGA PN 98 2001).

Größe und Art der Grundmenge gegebenenfalls Separierungen

Je Schredderkampagne werden 500 Restkarossen geschreddert. Die 500 t Material gliedern sich ca. in folgende Teilströme:

Stahlprodukt:	200 - 325 t mit Körnung < 180 mm
Schredderschwerfraktion:	50 t mit Körnung < 2 mm
Schredderleichtfraktion:	125 t mit Körnung < 180 mm

Angaben zur Masse und Anzahl der Einzelproben und Laborproben

Aus der durch den Anlagenbetreiber geschätzten Masse der Grundmenge und ihrer Körnung ergeben sich folgende Randbedingungen für die Anzahl und Größe der Einzelproben und dem Volumen der Laborprobe.

Die Dichte von Stahl liegt bei ca. 6 t/m3, SSF (< 2 mm) bei 1 t/m3, SLF bei 0,25 t/m3.

Tabelle 201: Angabe der Anzahl von Einzel- und Laborproben und Masse/Volumina

Proben-Nr.	Proben-bezeich-nung	Größt-korn d_{95} in mm	Größe der Grundmenge in t	Volumen der Grundmenge in m^3	Mindest-volu-men der Einzel-probe in l	Anzahl der Ein-zelproben pro Laborprobe	Volumen der Labor-probe in l	Anzahl der ins Labor zu über-führenden Proben (La-borproben)
Probe 1 und 7	Fe-Fraktion (Stahlprodukt)	180	310	50	6	6	20	3 Teilproben
Probe 2 und 8	Metallmischfrak-tion nach Hand-klaubung	180	15	3	6	6	20	2 Teilproben
Probe 3.1/3.2/3.3 und 9.1/9.2/9.3	Feinanteil der Schredder-schwerfraktion	2	50	50	1	6	5	3 unabhängige Gesamtproben
Probe 4.1/4.2/4.3 und 10.1/10.2/10.3	Schredderleicht-fraktion (Maxi-malkorn 180 mm)	120	125	500	10	12	20	3 unabhängige Gesamtproben

Bei Stahlprodukt wird von d_{95} = 180 mm ausgegangen, SLF hat als Maximalkorn 180 mm, d_{95} beträgt nach Schätzungen des Anlagenbetreibers (Schredderanlage 2) ca. 120 mm. Im Labor erfolgt die weitere Probenvorbereitung der Teilproben, u.a. nach DIN 19747. Die Vorgabenwerte für das Volumen der Einzelproben erfolgten i. A. an die LAGA PN98 (2001) und E-DIN 19698 Teil 2 (2015). Das Konzept geht von der ausgeschriebenen Anzahl von 500 zu schreddernden Altfahrzeugen aus. Auch wenn weniger als die ausgeschriebene Anzahl von Altautos zum Einsatz kommen, werden die ermittelten notwendigen Probenanzahlen und –massen beibehalten. Dadurch erhöht sich die Repräsentativität der Ergebnisse.

Optische Bestimmung des Materials

Die vorzugebenden Stellen werden fotodokumentiert. Es wird eine Nummerierung der Stellen empfohlen, um die Fotos den Stellen besser zuordnen zu können. Die Masse wird vom Anlagenbetreiber erfasst. Besonderheiten, die nicht im Foto erkennbar sind, werden im Probennahmeprotokoll dokumentiert. Vom Anlagenbetreiber sind die entsprechenden Stellen vorzugeben bzw. am Tag der Beprobung zuzuweisen.

Wichtiger Hinweis:

Es ist wichtig auf Grund der Größe und Komplexität des Schredderprozesses, bei der Protokollierung eine eindeutige Probenbezeichnung zu verwenden, damit jederzeit die Zuordnung zum Schredderprozess möglich ist.

7.6.8 Parameter für die Untersuchung

Gemäß Leistungsbeschreibung werden die in Tabelle 202 genannten Parameter untersucht.

Tabelle 202: Untersuchungsumfang Stahlprodukt/Metallmischfraktion nach Handklaubung

Parameter	Bemerkung
Ausgewählte Störstoffe	Wägung und Dokumentation
Gehalt Eisen/Nichteisenmetalle (z.B. Cu, Al, Pb, Zn, Sn)	mobile RFA
Gehalt Edel- und Sondermetalle (Z. B. Au, Ag, Pd, Nd, Ta, Co) Edelstahl	mobile RFA
RFA-Screening (für Aussagen über Vielfalt enthaltener Legierungen)	mobile RFA

Tabelle 203: Untersuchungsumfang Schredderfraktionen

Parameter	Bemerkung
Abfallschlüssel	
Korngrößenspektrum	Wägung und Dokumentation
Glühverlust	Labor
Wassergehalt	Labor
Glas/Mineralik/Kunststoffe und Elastomere	Wägung und Dokumentation
Schadstoffe und Wertstoffe: Al, Fe, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Sn, Au, Ag, Pd, Nd, Ta, Co, Sb, Be	ICP nach Köwa
BTEX	Labor
PCB	Labor
MKW	Labor
PAK	Labor
Bromierte Flammschutzmittel	Labor
PBDE	Labor
Chlor gesamt	Labor
Brom gesamt	Labor
Evtl. RFA für Legierungsbestimmung separierter, bei der Zerkleinerung störender Metallteile	mobile RFA

7.7 Anhang G - Rechnerische Zusammenstellung der in der Fe-Fraktion enthaltenen Elemente

Tabelle 204: Rechnerische Zusammenstellung der in der Fe-Fraktion enthaltenen Elemente

Element	Schredder-anlage 1 Kiste 1 [mg]	Schredder-anlage 1 Kiste 2 [mg]	Schredder-anlage 1 Kiste [mg]	Schredder-anlage 1 (Gesamt-masse) [mg]	Schredder-anlage 1 [mg Stahl-produkt]	Schredder-anlage 1 [Gew%]	Schredder-anlage 2 [mg]	Schredder-anlage 2 Kiste 2 [mg]	Schredder-anlage 2 Kiste [mg]	Schredder-anlage 2 (Gesamt-masse [mg]	Schredder-anlage 2 [mg Stahl-produkt]	Schredder-anlage 2 [Gew%]
Ag (ICP-OES)					n. n.						n. n.	
Al	94.050	190.393	1.096.410	1.380.853	11.973	1,20	189.120		1.641.651	1.830.771	16.532	1,65
Bi					n. n.						n. n.	
Co			12.045	12.045	104	0,01					n. n.	
Cr	76.751	33.537	38.715	149.003	1.292	0,13	79.940	8710		88.650	801	0,08
Cu	3.7364	153.865	1.955	193.184	1.675	0,17	82.580	39641	804.942	927.163	8.372	0,84
Fe	4.7644.988	38.336.431	23.257.525	109.238.944	947.186	94,7	25.695.520	39054488	37.334.804	102.084.812	921.842	92,18
Hg					n. n.						n. n.	
Mn	165.032	71.058	65.810	301.900	2.618	0,26	89.070	136530	238.508	480.930	4.343	0,43
Mo	13.396			13.396	116	0,01					n. n.	
Nb					n. n.						n. n.	
Ni	18.374	6.175	5.745	30.294	263	0,03	103.660			103.660	936	0,09
Pb	6.961	13.200	227.755	247.916	2.150	0,22					n. n.	
Pd (ICP-OES)					n. n.						n. n.	
Sb					n. n.						n. n.	
Se					n. n.						n. n.	
Sn					n. n.						n. n.	
Ti			68.795	68.795	597	0,06	48.950			48.950	442	0,04
V			2.220	2.220	19	0,002					n. n.	
W					n. n.						n. n.	
Zn	29.170	136.932	517.835	683.938	5.930	0,59	1.230.430	837376	1.003.182	3.070.987	27.732	2,77
Zr					n. n.						n. n.	
Au (ICP-OES)					n. n.						n. n.	

Element	Schredder-anlage 1 Kiste 1 [mg]	Schredder-anlage 1 Kiste 2 [mg]	Schredder-anlage 1 Kiste [mg]	Schredder-anlage 1 (Gesamt-masse) [mg]	Schredder-anlage 1 [mg Stahl-produkt]	Schredder-anlage 1 [Gew%]	Schredder-anlage 2 [mg]	Schredder-anlage 2 Kiste 2 [mg]	Schredder-anlage 2 Kiste [mg]	Schredder-anlage 2 (Gesamt-masse [mg]	Schredder-anlage 2 [mg Stahl-produkt]	Schredder-anlage 2 [Gew%]
Nd (ICP-OES)	2.844	1.760	2.106	6.710	58	0,0058	1.154	1.658	18.17	4.629	42,3	0,0042
Ta (ICP-OES)					n. n.						n. n.	
Gesamt-masse [kg]	48,83	40,85	25,65	115,33			28,00	41,02	41,72	110,74		

n. n. nicht nachweisbar (aus Gehalten kleiner Nachweisgrenze wurde keine Massen errechnet, daher befinden sich leere Zellen in der Tabelle)

7.8 Anhang Probenummern

In der Tabelle 205 sind die in der Untersuchungseinrichtung verwendeten Bezeichnungen (Probennummern) aufgeführt.

Tabelle 205: Zusammenstellung der im Labor verwendeten Probennummern

Probenbezeichnung	Matrix	Firma 1	Firma 2
Probe 1	Stahlschrott	16-070899-01	16-078353-01
Probe 2	Metallmischfraktion nach Handklaubung	16-070899-02	16-078353-02
Probe 3.1	SSF	16-070899-03	16-078353-03
Probe 3.2	SSF	16-070899-04	16-078353-04
Probe 3.3	SSF	16-070899-05	16-078353-05
Probe 4.1	SLF	16-074469-01-2	16-078353-06
Probe 4.2	SLF	16-074497-01-2	16-078353-07
Probe 4.3	SLF	16-074498-01-2	16-078353-08
Sonderprobe Anhaftungen	Staub Stahlschrott	16-079961-01	
VA-Teile	VA-Teile	keine eigene Labornummer	keine eigene Labornummer

7.9 Anhang Herleitung der Formel zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfanges aus der Gleichung des Leitfadens der Europäischen Kommission.

Abbildung 160: Formeln zur Bestimmung des notwendigen Stichprobenumfanges

$n_{not} = \frac{\left(\frac{S_x}{\bar{x}}\right)^2 * (t_{1-\propto})^2}{{\varepsilon_{rel}}^2}$	Siehe [Gleichung 12]
$\sqrt{n} = \frac{u * \frac{S_x}{\bar{x}} * \left(1 - \frac{n}{N}\right)}{\varepsilon_{rel}}$	Für N-1 ≈ N Für t ≈ u Term $\left(\frac{n}{N}\right)$geht gegen Null bei N>>n und kann daher gekürzt werden.
$\sqrt{n} * \varepsilon_{rel} = \frac{u * \frac{S_x}{\bar{x}} - u * \frac{S_x}{\bar{x}} * \frac{n}{N}}$	
$0 = \sqrt{n} * \varepsilon_{rel} + n\left(\frac{1}{N} * u * \frac{S_x}{\bar{x}}\right) - \frac{u * S_x}{\bar{x}}$	
$0 = n\left(\frac{u * S_x}{N * \bar{x}}\right) + \sqrt{n} * \varepsilon_{rel} - \frac{u * S_x}{\bar{x}}$	$\mid * \ N * \bar{x}$
$0 = n(u * S_x) + \sqrt{n} * (\varepsilon_{rel} * N * \bar{x}) - u * S_x * N$ (a) (b) (c)	
$X_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	Mit $\sqrt{n} = x$
$X_1 = \left[\frac{-\varepsilon_{rel} * N * \bar{X} + \sqrt{{\varepsilon_{rel}}^2 * N^2 * \bar{X}^2 + 4u^2 * {S_x}^2 * N}}{2u * S_x}\right]^2$	
$n_{not} = \left[\frac{-\varepsilon_{rel} * N * \bar{X} + \sqrt{{\varepsilon_{rel}}^2 * N^2 * \bar{X}^2 + 4 * u^2 * {S_x}^2 * N}}{2u * S_x}\right]^2$	Siehe [Gleichung 10]

n	Anzahl Stichprobe
N	Anzahl Grundgesamtheit
u	Sicherheitsniveau oder Konfidenzkoeffizient

7.10 Anhang Ergebnis der Schredder Kampagnen aus der Literaturrecherche sowie daraus abgeleitete Varianzen - Zusammenfassung

Tabelle 206: Literaturrecherche - Zusammenfassung

Herausgeber	Quelle	Kommentar
Irland	Gaillot, McCormack (2014)	Nach N1&M1 geschichtet
BMW	Recycling magazine (2008)	Pre-2007 BMW und MINI
TÜV Nord	TÜV NORD GmbH (2006)	
Spain	SIGRAUTO (2010)	
UK	Mayer Environmental (2015)	
Scholz	Schubert et al. (2006)	Fahrzeuge ohne Motor und Getriebe
Scholz	Schubert et al. (2006)	Fahrzeuge mit Motor und Getriebe

Absolute Werte

Abbildung 161: Zusammenfassung der Ableitung von Varianzen, Teil Demontage

Dismantling								
Anzahl Altfahrzeuge	N	100	501	396	584	400	504	225
Demontage Batterien	kg	941		4.148		5.324		
Demontage Räder	kg	2.958		23.017	4.307	14.362		
Demontage Bauteile	kg	3.153		26.727	20.494			
Total Dismantling	kg	7.053	72.410	53.892	95.203	19.686	163.373	30.699

N	Mittelwert	Varianz (per hand)	Varianz (funktion)	Variationskoeffizient
3	3.471			
4	11.161			
3	16.791			
7	63187,9	2.573.363.218,90	2.888.769.664	45.717,13

Abbildung 162: Zusammenfassung der Ableitung von Varianzen, Teil Schredder

Shredder/Separation									N	Mittel-wert	Varianz (per hand)	Varianz (funktion)	Variationskoeffizient
Anzahl Altfahr-zeuge	N	100	501	396	931	400	504	225					
Ferrous	kg	71600	382.620	199.939	492.292	280.600	189.260	121.640	7	248.279	21.777.122.217,20	21.951.233.136	88.413,67
NE-Metall	kg		0	10.597					2	5.299			
Copper	kg	280	3960	567	3.888,00		240	370	5	1.551			
SSF	kg	8160,00	149900	54.288	65.118,00	56.571,00	13500	14010	7	51649,6	2.434.162.758,09	2.438.199.501	47.206,58
SLF	kg	17746	111420	27.188	110.980,00	89.350,00	78640	38820	7	67734,9	1.479.409.775,69	1.557.278.842	22.990,80
rubber, textiles and non-metallic compo-site mat-erials	kg		1420		1.240,00				2	1330,0			

7.11 Ergebnis der Schredderkampagnen aus der Literaturrecherche sowie daraus abgeleitete Varianzen – Zusammenfassung normiert

Abbildung 163: Formel Ableitung Varianz normiert

$$n_{not} = \frac{\left(Varkoeff\left(X_{(Fe)}\right)\right)^2 \cdot \left(t_{1-\alpha;n-1}\right)^2}{\varepsilon_{rel,zul}{}^2}$$

Tabelle 207: Zusammenfassung Literaturauswertung

Herausgeber	Quelle	Kommentar
Irland	Gaillot, McCormack (2014)	Nach N1&M1 geschichtet
BMW	Recycling magazine (2008)	Pre-2007 BMW und MINI
TÜV Nord	TÜV NORD GmbH (2006)	
Spain	SIGRAUTO (2010)	
UK	Mayer Environmental (2015)	
Scholz	Schubert et al. (2006)	Fahrzeuge ohne Motor und Getriebe
Scholz	Schubert et al. (2006)	Fahrzeuge mit Motor und Getriebe

Normiert auf 300 AFZ

Abbildung 164: Zusammenfassung der Ableitung von Varianzen normiert, Teil Demontage

Dismantling									N	Mittel-wert	Varianz (per hand)	Varianz (funktion)	Variations koeff	eps	n_not
Anzahl Altfahrzeuge	N	300	300	300	300	300	300	300							
Demontage Batterien	kg	2.824		3.142		3.993			3	3.320					
Demontage Räder	kg	8.875		17.437	2.213	10.771			4	9.824					
Demontage Bauteile	kg	9.459		20.248	10.528				3	13.411					
Total Dismantling	kg	21.158	43.359	40.827	48.906	14.764	97.246	40.932	7	43.885	709.244.920	709.244.920	60,69%	5,00%	566

Abbildung 165: Zusammenfassung der Ableitung von Varianzen normiert, Teil Schredder

Shredder/Separation								
Anzahl Altfahrzeuge	N	300	300	300	300	300	300	300
Ferrous	kg	214.800	229.114	151.469	158.633	210.450	112.655	162.187
NE-Metall	kg			8.028				
Copper	kg	840	2.371	430	1.253		143	493
SSF	kg	24.480	89.760	41.127	20.983	42.428	8.036	18.680
SLF	kg	53.238	66.719	20.597	35.762	67.013	46.810	51.760
rubber, textiles and non-metallic composite materials	kg		850		400			

N	Mittelwert	Varianz (per hand)	Varianz (funktion)	Variationskoeff	eps	n_not
7	177.044	1.768.748.267	1.768.748.267	23,75%	5,00%	87
1	8.028					
5	922					
7	35.071	731.992.066	731.992.066	77,15%	5,00%	915
7	48.842	275.098.177	275.098.177	33,96%	5,00%	177
2	625					