

Masterarbeit

Ökodesign und Demontage von ausgewählten Elektrokleingeräte- Fraktionen unter spezieller Berücksichtigung von Batterien

Vorgelegt von:

Walch, Cornelia, BSc.
0835138

Betreuer:

Univ.-Prof. DI Dr. mont. Pomberger, Roland
Mag.rer.soc.oec. Schwarz, Therese
Dipl.-Ing. Nigl, Thomas

Leoben, 29. Mai 2017

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Datum

Unterschrift

Kurzfassung

Ökodesign und Demontage von ausgewählten Elektrokleingeräte-Fraktionen unter spezieller Berücksichtigung von Batterien

Der Elektroaltgerätestrom ist einer der am schnellsten wachsenden Abfallströme weltweit und wird auf rund 40 Millionen Tonnen pro Jahr geschätzt. Davon werden aber nur weniger als ein Sechstel einer ordnungsgemäßen Behandlung unterzogen. In Österreich wurden im Jahr 2015 laut Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 rund 80.200 Tonnen an Elektro- und Elektronikaltgeräten gesammelt. Durch diese Menge, aber auch Materialien an unterschiedlichen Werkstoffen gewinnt dieser Abfallstrom an Bedeutung. Grundsätzliche Recyclingwege und -prozesse des Stoffstroms sind in Österreich vorhanden, ebenso finden sich gesetzliche und normative Vorschriften dazu, jedoch ist durch die Vielfalt der Produkte, Materialien, Formen und Strukturen ein optimales Recycling oftmals noch nicht erreicht. Im Rahmen dieser Arbeit werden zunächst die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Elektro- und Elektronikkleingeräte, sowie das Ökodesign behandelt, um die österreichische Gesetzeslage darzustellen und Anforderungen zu identifizieren.

Im anschließenden Praxisteil, der sich in zwei Teilbereiche gliedert, werden zunächst die Methoden und Ergebnisse der Sammlung, Sortierung und Demontage von Elektro- und Elektronikkleingeräten behandelt. Ziel des ersten Abschnittes ist die Ermittlung des Anteils von Batterien bzw. Akkus in der Elektro- und Elektronikkleingeräte Fraktion, sowie Demontageaufwand, Zustand und Batterie- bzw. Akkutyp. Der zweite Teil beschäftigt sich mit Erkenntnissen und Empfehlungen zur Verbesserung des Ökodesigns, um die Produkte besser demontierbar zu machen und möglichst effizient und umweltfreundlich diese zu produzieren bzw. zu recyceln. Unter spezieller Berücksichtigung der verbauten Verbindungstechnik erfolgt die Demontage von insgesamt 65 verschiedenen Mobiltelefonen. Aus den erhaltenen Ergebnissen werden Vorschläge für Änderungen am Produkt abgeleitet.

Ziel der Arbeit ist es einen Überblick über den Abfallstrom Elektrokleingeräte zu geben und genauer auf die Herausforderungen des Recyclings der Zukunft einzugehen.

Abstract

Ecodesign and dismantlement of selected WEEE fractions in consideration of batteries

The electronic waste stream is one of the fastest growing waste streams in the world. Per year it is estimated, that around 40 million tons of e-waste arise, but only one sixth of this stream is dealt with properly. According to the waste economy plan 2017 of the Austrian federation the collected amount of e-waste in Austria makes up 80.200 tons. Due to this amount and the materials that occur in this mass stream, the importance of the e-waste stream is rising. To recycle e-waste in Austria, there is a well working system, that includes the legal frame conditions as well as the treatment. Due to a variety of different products, materials and structures the optimum of this system is not yet accomplished. To identify the legal situation and the requirements of this topic, the first part of the master thesis contains the regulatory framework for small electrical and electronic equipment as well as the ecodesign regulations.

The following practical part is divided into two topics. The first part contains the methods and results of the collection, separation and dismantlement of small electrical and electronic equipment. The goal of the first part will be the determination of the battery fraction in the small electrical and electronic equipment fraction, as well as the dismantlement effort, the condition and the battery type. The second part will be about ecodesign and the awareness and recommendations to implicate some improvements for the product, like an easy dismantlement, as well as an efficient and environmentally acceptable production and recycling. In consideration of the joining technology, the dismantlement of overall 65 different mobile phones was carried out. The results of the dismantlement were used to give some suggestions and changes for future products.

The goal of this master thesis is to provide an overview of waste small electrical and electronic equipment and observe the challenges for the future recycling in detail.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	3
1.1 Problemstellung	3
1.2 Zielsetzung	4
2 GESETZLICHE GRUNDLAGEN	5
2.1 Europa	5
2.1.1 WEEE-RL	5
2.1.2 Ökodesign Richtlinie	9
2.2 Österreich	10
2.2.1 Abfallwirtschaftsgesetz 2002.....	10
2.2.2 Elektroaltgeräteverordnung.....	13
2.2.3 Abfallbehandlungspflichtenverordnung	16
2.2.4 Ökodesignverordnung.....	16
2.3 Normen	18
3 BATTERIEN IN ELEKTROKLEINGERÄTEN.....	19
3.1 Methodik und Arbeitsweise	19
3.1.1 Probenahme, Sortierung und Demontage.....	19
3.1.2 Auswertung.....	21
3.2 Probenahmeplan.....	22
3.3 Probenahme Standort A1 am 24.11.2016.....	23
3.3.1 Standort A1.....	23
3.3.2 Probenahme am Standort A1 Sortierung 1 (A1.S1).....	23
3.3.3 Probenahme am Standort A1 Sortierung 2 (A1.S2).....	25
3.4 Probenahme Standort B am 15.02.2017.....	27
3.4.1 Standort B.....	27
3.4.2 Probenahme am Standort B Sortierung 1, 2 und 3 (B.S1, 2 und B.S3)	27
3.5 Probenahme Standort A2 am 20.03.2017.....	29
3.5.1 Standort A2.....	29
3.5.2 Probenahme am Standort A2 Sortierung 1 (A2.S1).....	29
3.5.3 Probenahme am Standort A2 Sortierung 2 (A2.S2).....	31
3.6 Probenahme Standort C am 23.03.2017	32
3.6.1 Standort C	32
3.6.2 Probenahme am Standort C (C.S)	32

3.7	Ergebnisse und Diskussion.....	34
3.7.1	Anteil an Batterien.....	34
3.7.2	Auswertung des Demontageaufwandes.....	41
3.7.3	Beschreibung der Batterien.....	42
4	ELEKTROKLEINGERÄTE AM BEISPIEL VON MOBILTELEFONEN.....	43
4.1	Entwicklung der Produktgruppe Informations- und Kommunikationstechnikgeräte	43
4.2	Definition von Ökodesigns	43
4.3	Sammlung von Elektrokleingeräten	44
4.4	Reuse von Elektrokleingeräten	46
4.5	Demontage von Elektrokleingeräten	46
4.6	Beispiel nachhaltiges Mobiltelefon: das Fairphone	50
4.7	Beispiel für ein modulares Konzept: das Projekt ARA	51
5	DEMONTAGE VON MOBILTELEFONEN.....	53
5.1	Vorgehensweise	54
5.1.1	Nokia 6020	55
5.1.2	Archos – 59 Titanium	56
5.1.3	Apple - iPhone 3GS	57
5.1.4	Apple - iPhone 5	58
5.1.5	Fairphone - FP1.....	60
5.2	Ergebnisse der Mobiltelefondemontage.....	61
5.3	Interpretation der Ergebnisse.....	62
5.4	Verbesserungsvorschläge und Diskussion	63
6	SCHLUSSFOLGERUNG	66
7	ZUSAMMENFASSUNG	68
8	VERZEICHNISSE	69
8.1	Literaturverzeichnis.....	69
8.2	Abkürzungsverzeichnis.....	71
8.3	Tabellen.....	72
8.4	Abbildungen.....	73
ANHANG.....	I

1 Einleitung

Eine Googleanfrage benötigt rund 0,3 Wattstunden, die Summe aller Anfragen in den Rechenzentren von Google beläuft sich auf 2,26 Milliarden Kilowattstunden. Das ist solch eine große Strommenge, dass eine Stadt mit mehr als 200.000 Haushalten versorgt werden könnte. Das Internet stellt damit einen der am schnellsten wachsenden Stromverbraucher dar und ist aus unserem Leben gar nicht mehr wegzudenken. Durch den zunehmenden Anstieg an Informations- und Kommunikationstechnik steigt auch die Menge an Elektro- und Elektronikaltgeräten (Behrendt, 2015). Weltweit wird die Menge an anfallendem Elektro- und Elektronikschrott auf rund 40 Millionen Tonnen pro Jahr geschätzt, doch nur ein Sechstel davon wird einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt (Martens and Goldmann, 2016). Diese Abfallfraktion besitzt zum einen ein sehr großes Schadstoffpotenzial, aufgrund der in den Geräten vorhandenen Batterien, aber beinhaltet zum anderen auch eine Menge an rückgewinnbaren Wertstoffen. In Österreich wurden im Jahr 2015 laut Entwurf des Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 rund 80.200 Tonnen an Elektro- und Elektronikaltgeräten einer getrennten Sammlung zugeführt (BMLFUW, 2017a).

In den letzten Jahren wurde speziell die Lebensdauer einer Produktgruppe der Elektro- und Elektronikgeräte immer kürzer, nämlich jene von Mobiltelefonen. Laut Martens and Goldmann (2016) sank die Lebensdauer der Mobiltelefone von acht Jahren, Anfang der 1990er auf heute nur noch ein bis zwei Jahre. Diese Tendenz ist auf Modetrends, neue Funktionen und geplante Obsoleszenz zurückzuführen. Als Ansatz für die Verringerung des Elektro- und Elektronikschrottaufkommens wird deswegen die Verlängerung der Lebensdauer von Produkten forciert. Da sich die Verbesserungen an den Geräten zu einem großen Teil bei der Produktplanung direkt im Unternehmen abspielen, bereits in der Planungsphase ein immer größer werdendes Augenmerk auf das Ökodesign von Produkten gelegt. Ein ideales und umweltgerechtes Produkt sollte nicht nur die Wünsche der Nutzer in sich vereinen, sondern Reparaturmöglichkeiten, einen geringen Rohstoffverbrauch und vieles mehr bieten können. Laut Geyer and Blass (2010) hat die Wiederverwendung von Mobiltelefonen, unter den Elektroprodukten den größten Markt und bietet eine gute Möglichkeit die Lebensdauer der Mobiltelefone zu verbessern. Gerade im Bereich des *Reuse* und Recyclings haben die Wirtschaft und die Gesetzgebung einen sehr großen Einfluss. Die nationale und europäische Gesetzgebung hat jedoch nur einen eingegrenzten Wirkungsraum, da viele Produkte bzw. Werkstücke von Produkten aus allen Teilen der Welt kommen.

1.1 Problemstellung

Trotz der vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Entnahme werden immer noch Batterien bzw. Akkus in einem nicht unerheblichen Ausmaß in der Fraktion der Elektro- und Elektronikaltgeräte gefunden. Da Batterien und Akkus gemäß dem Abfallwirtschaftsgesetz unter gefährliche Abfälle fallen, werden diese getrennt vom Abfallstrom der Elektro- und Elektronikaltgeräte gesammelt. Da Batterien und Akkus, die nicht richtig gesammelt und gelagert werden Brände verursachen können stellen sie heutzutage ein großes

Sicherheitsrisiko dar. Eine weitere Herausforderung stellt das erhöhte Aufkommen von Elektro- und Elektronikaltgeräten dar, womit ein Anstieg der Menge an Elektro- und Elektronikkleingeräten einhergeht. Zu erwähnen ist, dass dieser Anstieg der Abfallmengen zeitlich verzögert passiert. Viele Geräte verfügen heutzutage über fix verbaute Akkus, dies mindert das Potenzial der getrennten Sammlung dieser Fraktion. Da häufig neue Mobiltelefone diese Art des Einbaus von Akkus aufweisen und das Konsumverhalten bei diesem Produkt sehr hoch ist, werden erhebliche Schadstoffe in den Elektro- und Elektronikkleingerätestrom eingebracht.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der Fraktion Elektro- und Elektronikkleingeräte. Dabei werden im Zuge der Probenahme an drei unterschiedlichen Standorten Aspekte wie der Anteil an Batterien in den Geräten, der notwendige Aufwand zur Entfernung der Batterie aus dem Elektro- und Elektronikkleingerät, der Zustand der Batterie und in einer abschließenden Sortierung der Batterien im Labor, der Anteil an Lithium Batterien ermittelt. Eine detailliertere Analyse der Lebensdauer und des Demontagevorganges wird im zweiten Abschnitt des praktischen Teils durchgeführt.

Im Zuge der Demontage von 65 verschiedenen Mobiltelefonmodellen werden die verwendeten Verbindungstechniken, die verbauten Werkstoffe, die Demontagezeiten sowie die Demontagefreundlichkeit dokumentiert. Auf Basis der dabei erhaltenen Ergebnisse werden Vorschläge zu Änderungen am Mobiltelefon ermittelt.

2 Gesetzliche Grundlagen

Die gesetzliche Grundlage für die Elektro- und Elektronik-Altgeräte bildet auf EU-Ebene die WEEE-Richtlinie (2012/19/EU) vom 4. Juli 2012, wobei die Umsetzung in nationales Recht bis zum 14. Februar 2014 zu erfolgen hatte (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012). Die Grundlage für die Ökodesignverordnung in Österreich bildet die RL 2009/125/EG vom 21. Oktober 2009, die mit 20. November 2010 in nationales Recht umzusetzen war (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2009). Um den Rahmen der Möglichkeiten und Einschränkungen im Hinblick auf Ökodesign von Elektro- und Elektronikgeräten und im Anschluss den Bereich der Entsorgung, Sammlung und Behandlung von Elektro- und Elektroaltgeräten zu verstehen, werden in den folgenden Kapiteln, die für diese Arbeit relevanten gesetzlichen Verordnungen und Richtlinien auf EU-Ebene und für Österreich näher betrachtet.

2.1 Europa

2.1.1 WEEE-RL

Auf europäischer Ebene bildet die Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, kurz WEEE-Richtlinie, die Grundlage für die Vermeidung von Elektro- und Elektronik-Abfällen sowie die Vorgangsweise in Bezug auf Förderung der Wiederverwendung, des Recyclings und anderer Verwertungswege (Ott, 2016).

Laut WEEE-Richtlinie Artikel 1 ist das Ziel:

„...die schädlichen Auswirkungen der Entstehung und Bewirtschaftung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten vermieden oder verringert, die Gesamtauswirkungen der Ressourcennutzung reduziert und die Effizienz der Ressourcennutzung verbessert werden sollen, wodurch zur nachhaltigen Entwicklung beigetragen wird.“ (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012)

Von dieser Richtlinie sind von 13. August 2012 bis zum 14. August 2018 zehn Gerätekategorien betroffen. Ab dem 15. August 2018 sind diese zehn Kategorien in sechs neuen Kategoriengruppen untergebracht.

Gerätekategorien von 13. August 2012 bis zum 14. August 2018 (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012):

1. *Haushaltsgroßgeräte*
2. *Haushaltskleingeräte*
3. *IT- und Telekommunikationsgeräte*
4. *Geräte der Unterhaltungselektronik und Photovoltaikmodule*
5. *Beleuchtungskörper*
6. *Elektrische und elektronische Werkzeuge (mit Ausnahme ortsfester industrieller Großwerkzeuge)*
7. *Spielzeuge sowie Sport- und Freizeitgeräte*

8. *Medizinische Geräte (mit Ausnahme aller Implantate und infektiösen Produkte)*
9. *Überwachungs- und Kontrollinstrumente*
10. *Ausgabeautomaten*

Neue Gerätekategorien ab dem 15. August 2018 (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012):

1. *Wärmeüberträger*
2. *Bildschirme, Monitore und Geräte, die Bildschirme mit einer Oberfläche von mehr als 100 cm² enthalten*
3. *Lampen*
4. *Großgeräte (eine der äußeren Abmessungen beträgt mehr als 50 cm), einschließlich unter anderem Haushaltsgeräte; IT- und Telekommunikationsgeräte; Geräte der Unterhaltungselektronik; Leuchten, Ton- oder Bildwiedergabegeräte, Musikausrüstung; elektrische und elektronische Werkzeuge; Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte; medizinische Geräte; Überwachungs- und Kontrollinstrumente; Ausgabeautomaten; Geräte zur Erzeugung elektrischer Ströme. In diese Kategorie fallen nicht die von den Kategorien 1 bis 3 erfassten Geräte.*
5. *Kleingeräte (keine äußere Abmessung beträgt mehr als 50 cm), einschließlich unter anderem Haushaltsgeräte; Geräte der Unterhaltungselektronik; Leuchten; Ton- oder Bildwiedergabegeräte, Musikausrüstung; elektrische und elektronische Werkzeuge; Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte; medizinische Geräte; Überwachungs- und Kontrollinstrumente; Ausgabeautomaten; Geräte zur Erzeugung elektrischer Ströme. In diese Kategorie fallen nicht die von den Kategorien 1 bis 3 und 6 erfassten Geräte.*
6. *Kleine IT- und Telekommunikationsgeräte (keine äußere Abmessung beträgt mehr als 50 cm)*

Natürlich sind auch Ausnahmen in der Richtlinie festgeschrieben. Handelt es sich dabei um ein Elektro- und Elektronikgerät, das dem Schutz des Mitgliedsstaates dient und einen militärischen Zweck erfüllt, Teil eines anderen Gerätetyps ist und dieses Gerät von der Richtlinie ausgenommen ist oder nicht in den Geltungsbereich dieser Richtlinie fällt und dieses Gerät nur als Teil des anderen Gerätes seine Funktion erfüllt oder es sich um Glühbirnen handelt, so gilt die Richtlinie nicht. Ab dem 15. August 2018 kommen zusätzlich zu diesen drei Ausnahmen weitere sieben hinzu (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012).

1. *Ausrüstungsgegenstände für einen Einsatz im Weltraum;*
2. *ortsfeste industrielle Großwerkzeuge;*
3. *ortsfeste Großanlagen, ausgenommen Geräte, die nicht speziell als Teil dieser Anlagen konzipiert und darin eingebaut sind;*
4. *Verkehrsmittel zur Personen- oder Güterbeförderung mit Ausnahme von elektrischen Zweirad-Fahrzeugen, die nicht typgenehmigt sind;*

5. bewegliche Maschinen, die nicht für den Straßenverkehr bestimmt sind und ausschließlich zur professionellen Nutzung zur Verfügung gestellt werden;
6. Geräte, die ausschließlich zu Zwecken der Forschung und Entwicklung speziell entworfen wurden und nur auf zwischenbetrieblicher Ebene bereitgestellt werden;
7. medizinische Geräte und In-vitro-Diagnostika, wenn zu erwarten ist, dass diese vor Ablauf ihrer Lebensdauer infektiös werden, und aktive implantierbare medizinische Geräte.

In der WEEE-RL wird auch im Hinblick auf die Produktkonzeption festgelegt, dass der Einbau von Bruchstellen ohne sinnvollen Vorteil z.B.: für den Umweltschutz und/oder die Sicherheit nicht erlaubt sind (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012). Somit wird explizit der Einbau von Sollbruchstellen verboten, das heißt jedoch nicht, dass auch eine geplante Obsoleszenz verboten wird. Auf geplante Obsoleszenz und Überlegungen in welcher Art und Weise sich diese am Markt dennoch äußern wird in einem späteren Kapitel näher eingegangen.

Bei den Sammelzielen muss ab 2016 einen Mindestsammelquote von 45 % erreicht werden und diese ist kontinuierlich auf 65 % bis zum Jahr 2019 zu steigern. Dadurch verfällt mit 31. Dezember 2015 die jährliche Sammelquote für die getrennte Sammlung von durchschnittlich mindestens vier Kilogramm pro Einwohner und Jahr. Die Berechnung für die Quote von 45 % und 65 % hat dabei so zu erfolgen, dass zuerst das Gesamtgewicht der im gegebenen Jahr gesammelten EAG zu berechnen ist und anschließend als Prozentsatz des durchschnittlichen Gewichts der in den drei Jahren zuvor im jeweiligen Mitgliedsstaat in Verkehr gesetzten Elektro- und Elektronikgeräte auszugeben ist – durchschnittlicher Marktinput der letzten drei Jahre, vgl. Formel 1 (Ott, 2016). Ab 2019 kann alternativ zu der Mindestsammelquote von 65 % auch 85 % der im Mitgliedsstaat anfallenden Elektro- und Elektronik-Altgeräte gesammelt werden (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012).

$$\begin{aligned}
 \text{Sammelquote} &= \frac{\text{Gesamtgewicht der im Jahr } x \text{ gesammelten EAG}}{\frac{\sum \text{Gesamtgewicht, der in drei Jahren zuvor in Verkehr gesetzten EG}}{3}} \\
 &= \frac{m_{S,ges,x}}{\frac{m_{V,ges,(x-1)} + m_{V,ges,(x-2)} + m_{V,ges,(x-3)}}{3}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$m_{S,ges,x} \dots$	Masse, der im Jahr x gesammelten (S) EAG
$m_{V,ges,(x-1)} \dots$	Masse, der im Vorjahr (x-1) in Verkehr gesetzten (Verkauften V) Elektro- und Elektronikgeräte (EG)
$m_{V,ges,(x-2)} \dots$	Masse, der zwei Jahre zuvor (x-2) in Verkehr gesetzten (Verkauften V) Elektro- und Elektronikgeräte (EG)
$m_{V,ges,(x-3)} \dots$	Masse, der drei Jahre zuvor (x-3) in Verkehr gesetzten (Verkauften V) Elektro- und Elektronikgeräte (EG)

Die Rücknahme der EAG von den Endnutzern durch die Vertreiber hat kostenlos zu erfolgen, somit hat der Hersteller sich einem kollektiven Rücknahmesystem anzuschließen oder ein individuelles Rücknahmesystem, das im Einklang mit den Zielen der Richtlinie steht, einzurichten. Im Zuge der Sammlung der EAG ist auch eine ordnungsgemäße Behandlung sicherzustellen. Darunter fallen mindestens die Entfernung aller Flüssigkeiten und eine selektive Behandlung, das heißt diese Stoffe und Materialien sind einer getrennten Behandlung zum vorherigen Abfallstrom zu unterziehen, gemäß Anhang 7 der Richtlinie 2012/19/EU. Diese sogenannte Schadstoffentfrachtung ist bei getrennt gesammelten Elektro- und Elektronik-Altgeräten durchzuführen, wobei unter anderem Batterien und externe elektrische Leitungen zu entfernen sind und selektiv weiter behandelt werden.

In Artikel 14 der WEEE-RL wird auf die Informationen für den Nutzer eingegangen. Dabei sind die Ausweisung der Behandlungsgebühr und das Symbol zur Kennzeichnung von Elektro- und Elektronikgeräten erwähnenswert.

Bei der Ausweisung der Behandlungsgebühr gibt die Europäische Union den Mitgliedsstaaten die Möglichkeit die Hersteller dazu zu verpflichten, dass diese beim Verkauf neuer Produkte gegenüber den Käufern die Kosten für Sammlung, Behandlung und umweltgerechte Beseitigung offenlegen (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012). In § 9 der österreichischen EAG-VO wird diese Offenlegung verboten (BMLFUW, 2016). Rechtlich ist es damit dem Hersteller nicht gestattet in Österreich, die Kosten für Sammlung, Behandlung und umweltgerechte Beseitigung, aus dem sich unter anderem der Preis für die Ware zusammensetzt, dem Käufer mitzuteilen.

Mit dem Symbol in Abbildung 1 soll die Beseitigung als unsortierter Siedlungsabfall möglichst gering gehalten werden. Das Symbol ist vom Hersteller am Elektro- bzw. Elektronikgerät sichtbar, erkennbar und dauerhaft anzubringen (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012).



Abbildung 1: Symbol für die getrennte Sammlung von Elektro- und Elektronikgeräten (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012)

2.1.2 Ökodesign Richtlinie

Ziel der Ökodesign Richtlinie (Ökodesign-RL) ist eine einheitliche Regelung für energieverbrauchsrelevante Produkte und deren Ökodesignanforderungen zu schaffen. Dieser festgelegte Rahmen soll einen freien Warenverkehr der betroffenen Produkte im Binnenmarkt gewährleisten und gleichzeitig Energieeffizienz, Umweltschutzniveau, nachhaltige Entwicklung sowie die Sicherheit der Energieversorgung verbessern (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2009).

Unter dem Begriff „energieverbrauchsrelevantes Produkt“ gemäß Artikel 2 Absatz 1 der Ökodesign-RL 2005/32/EG, ein *„[...] Gegenstand, dessen Nutzung den Verbrauch von Energie in irgendeiner Weise beeinflusst und der in Verkehr gebracht und/oder in Betrieb genommen wird, einschließlich Teilen, die zum Einbau in ein unter diese Verordnung fallendes energieverbrauchsrelevantes Produkt bestimmt sind, als Einzelteil für Endnutzer in Verkehr gebracht und/oder in Betrieb genommen werden und getrennt auf ihre Umweltverträglichkeit geprüft werden können;“* verstanden.

Weitere für das Verständnis wichtige Begriffe des Artikels 2 RL 2005/32/EG „Durchführungsmaßnahmen“, „Hersteller“ und „Importeur“. Unter „Durchführungsmaßnahmen“ werden Maßnahmen zur Festlegung der Ökodesignanforderungen für ausgewählte Produkte oder bestimmte Umweltaspekte verstanden, die auf Basis der Ökodesign-RL erlassen werden. Eine Person, die ein Produkt herstellt, das unter diese Richtlinie fällt und für dessen Inverkehrbringen und/oder ihre Inbetriebnahme eine Übereinstimmung mit dieser Richtlinie notwendig ist, wird als „Hersteller“ bezeichnet. Ein ebenso wichtiger Begriff ist „Importeur“, dieser setzt aus Drittstaaten stammende Produkte im Rahmen seiner Geschäftstätigkeit in der Gemeinschaft, in welcher er sich niedergelassen hat, in Verkehr.

Sofern kein Hersteller in der Gemeinschaft niedergelassen ist, hat der Importeur laut Artikel 4 RL 2005/32/EG einerseits die Pflicht sicher zu stellen, dass die für das Produkt geltenden Durchführungsmaßnahmen umgesetzt sind und andererseits zu gewährleisten, dass die Konformitätserklärung sowie die technische Dokumentation zur Verfügung stehen.

Damit ein Produkt von den Durchführungsmaßnahmen, welche in Artikel 15 RL 2005/32/EG näher erläutert werden, betroffen ist, müssen die Kriterien des Absatz 2 der Richtlinie erfüllt werden. Erstens hat das Verkaufs- und Handelsvolumen des Produktes innerhalb eines Jahres in der Gemeinschaft die Anzahl von 200.000 Stück zu überschreiten, zweitens muss das Produkt in Anbetracht der Menge eine erhebliche Umweltauswirkung haben und drittens muss ein erhebliches Verbesserungspotenzial für die Umweltverträglichkeit des Produktes gegeben sein, ohne eine beträchtliche Kostensteigerung nach sich zu ziehen. Die Durchführungsmaßnahmen für das jeweilige Produkt werden von der Kommission erarbeitet und nach den Ökodesign Anforderungen des Anhangs I und/oder Anhangs II der RL 2005/32/EG festgelegt. Laut Absatz 5 des Artikels haben die Durchführungsmaßnahmen alle nachstehenden Kriterien zu erfüllen:

1. *„Es darf aus Sicht des Benutzers keine nennenswerten nachteiligen Auswirkungen auf die Funktionsweise des Produkts geben;*
2. *Gesundheit, Sicherheit und Umwelt dürfen nicht beeinträchtigt werden;*
3. *es darf keine nennenswerten nachteiligen Auswirkungen für die Verbraucher geben, insbesondere hinsichtlich der Erschwinglichkeit und der Lebenszykluskosten des Produkts;*
4. *es darf keine nennenswerten nachteiligen Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie geben;*
5. *eine spezifische Ökodesign-Anforderung darf grundsätzlich nicht dazu führen, dass die Technik eines bestimmten Herstellers von allen anderen Herstellern übernommen werden muss; und*
6. *sie dürfen den Herstellern keine übermäßige administrative Belastung aufbürden.“*

Um möglichst rasch Durchführungsmaßnahmen für Produktgruppen zu schaffen, war laut Artikel 16 RL 2005/32/EG bis 21. Oktober 2011 ein Arbeitsprogramm zu veröffentlichen. Dieses enthält ein nicht erschöpfendes Verzeichnis von Produktgruppen deren Erlass von Durchführungsmaßnahmen Priorität hat. Dabei wird das Arbeitsprogramm regelmäßig angepasst.

Laut Wirtschaftskammer Österreich (2016) ergeben sich für den Hersteller und Importeur allein durch die Richtlinie bzw. aus der nationalen Umsetzung noch keine direkten Verpflichtungen. Diese kommen erst dann ins Spiel, wenn für bestimmte Produktkategorien Durchführungsmaßnahmen erlassen werden.

2.2 Österreich

2.2.1 Abfallwirtschaftsgesetz 2002

Die Grundlage für die Abfallwirtschaft in Österreich bildet das Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (AWG 2002), welches im BGBl. I Nr. 102/2002 kundgemacht wurde und mit 1. Juli 2002 in Kraft getreten ist (BMLFUW, 2002). Neben dem Bundes-Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) gelten in Österreich auch noch neun Landes-Abfallwirtschaftsgesetze, für jedes Bundesland eines. Um nun die Kompetenzen zu regeln wurde im Bundesverfassungsgesetz (B-VG) mit der Novellierung im Jahr 1988 der Artikel 10 Absatz 1 Ziffer 12 dahingehend angepasst und im BGBl. Nr. 685/1988 kundgemacht. Darin wird festgelegt, dass der Bund die Gesetzgebung und Vollziehung im Bereich der Abfallwirtschaft bei den gefährlichen Abfällen, sowie bei der Notwendigkeit einer bundesweit einheitlichen Vorschrift zu regeln hat. Somit liegen all jene Bereiche der Abfallwirtschaft, die im Bundes-Abfallwirtschaftsgesetz nicht festgeschrieben sind, im Kompetenzbereich der Länder (Konstituierende Nationalversammlung für Deutschösterreich, 2017). Die Gesetze, die in dieser Arbeit behandelt werden, sind allesamt Bundesgesetze, da einheitliche Vorschriften für ganz Österreich gelten müssen.

In § 1 Absatz 2 AWG 2002 ist eine fünfstufige Hierarchie festgelegt, an die sich die Bevölkerung bzw. die Abfallerzeuger und –behandler zu halten haben, vgl. Abbildung 2.

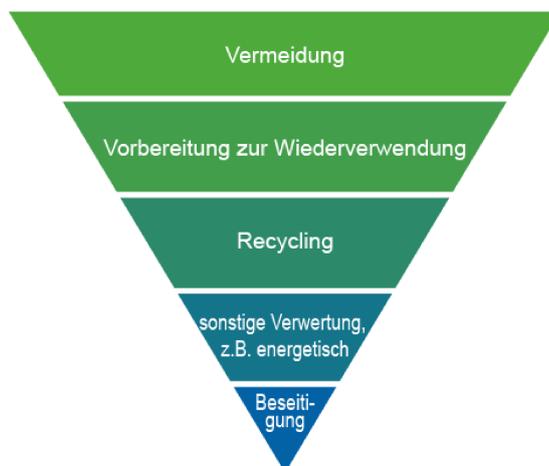


Abbildung 2: Fünfstufige Hierarchie (SIM, 2014)

An erster Stelle der Hierarchie steht die Abfallvermeidung. Oberstes Ziel ist es somit, so wenig Abfall wie möglich zu erzeugen. Gelingt dies nicht, sollte zuerst eine Wiederverwendung erfolgen, erst anschließend ein Recycling, ein anderer Verwertungsweg und ganz am Schluss die Beseitigung, d.h.: die Endablagerung auf einer Deponie (BMLFUW, 2002).

Bei „Abfall“ handelt es sich gemäß § 2 Absatz 1 AWG 2002 um eine bewegliche Sache, derer sich der Besitzer entledigen will oder bereits entledigt hat oder deren Behandlung als Abfall erforderlich ist, um eine Beeinträchtigung öffentlicher Interessen zu vermeiden. Die Definition dieses Begriffes ist für die nachfolgende Arbeit und die Thematik des *Reuse* von sehr großer Bedeutung, da allein durch den Entledigungswillen einer einzelnen Person zum Beispiel ein Mobiltelefon zu Abfall wird, obwohl dieses Mobiltelefon noch vollfunktionsfähig sein kann (Gharfalkar et al., 2015).

Auch die in der Hierarchie verwendeten Begriffe sind im § 2 Absatz 5 AWG 2002 näher erläutert, wobei hier nur die Bedeutung der Begriffe „Abfallvermeidung“, „Wiederverwendung“, „Vorbereitung zur Wiederverwendung“ und „Recycling“ von größerer Relevanz ist.

Unter „Abfallvermeidung“ werden Maßnahmen verstanden, die bereits zu setzen sind, bevor Produkte zu Abfall geworden sind. Zudem hat eine Verringerung der Abfallmenge (z.B.: Wiederverwendung oder Verlängerung der Lebensdauer), der nachteiligen Auswirkung der zu Abfall gewordenen Produkte auf Umwelt oder Mensch oder der Verringerung des Schadstoffgehaltes in Produkten mit der Abfallvermeidung einherzugehen.

Bei der „Wiederverwendung“ werden Produkte sowie Elemente, bei denen es sich nicht um Abfälle handelt, erneut für denselben Zweck eingesetzt, für den sie ursprünglich verwendet worden sind bzw. bestimmt waren.

Als „Vorbereitung zur Wiederverwendung“ werden Verwertungsverfahren bezeichnet bei denen Produkte oder Teile von Produkten, die bereits Abfall sind durch Prüfung, Reinigung oder eine Reparatur und ohne weitere Vorbehandlung soweit vorbereitet werden, dass sie anschließend wiederverwendet werden können. Somit ist mit Beendigung des Verwertungsverfahrens das Ende der Abfalleigenschaft erfolgt.

Bei „Recycling“ handelt es sich um ein Verwertungsverfahren, bei dem durch Aufbereitung von Abfällen zu Produkten, Sachen und Stoffen für denselben oder einen anderen Zweck verarbeitet werden.

Die Unterschiede zwischen den Begriffe „Abfallbesitzer“, „Abfallsammler“, „Abfallerzeuger“ und „Abfallbehandler“ werden in § 5 Absatz 6 Zeile 1 bis 4 bestimmt und sind folgend aufgelistet:

„[...]“

1. ist „Abfallbesitzer“
 - a. der Abfallerzeuger oder
 - b. jede Person, welche die Abfälle innehat;
2. ist „Abfallerzeuger“
 - a. jede Person, durch deren Tätigkeit Abfälle anfallen (Abfallersterzeuger), oder
 - b. jede Person, die Vorbehandlungen, Mischungen oder andere Arten der Behandlung vornimmt, die eine Veränderung der Natur oder der Zusammensetzung dieser Abfälle bewirken;
3. ist „Abfallsammler“ jede Person, die von Dritten erzeugte Abfälle selbst oder durch andere
 - a. abholt,
 - b. entgegennimmt oder
 - c. über deren Abholung oder Entgegennahme rechtlich verfügt;
4. ist „Abfallbehandler“ jede Person, die Abfälle verwertet oder beseitigt;“

Des Weiteren ist in § 9a AWG 2002 festgelegt, dass der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft längstens alle sechs Jahre ein Abfallvermeidungsprogramm vorzulegen hat, welches Teil des Bundes-Abfallwirtschaftsplans sein kann. In diesem Abfallvermeidungsprogramm sind neben einigen weiteren Punkten auch die Ziele einer nachhaltigen Abfallwirtschaft, siehe § 9 AGW 2002, die von der Wiege bis zur Bahre der Produkte reichen soll, zu erfüllen. Diese nachhaltige Abfallwirtschaft ist unter anderem durch eine Verringerung der Schadstoffgehalte der Abfälle, die Langlebigkeit und Reparaturfähigkeit, sowie Rücknahme-, Sammel- und Verwertungssysteme zu erreichen. Hier fallen aber auch Förderungen von Umweltmanagementsystemen wie EMAS oder ISO 14001 hinein. Das dritte und letzte Maßnahmenpaket beeinflusst Verbrauchs- und Nutzungsphase. Darunter fallen wirtschaftliche Instrumente, die durch Anreize zum Beispiel einen umweltfreundlichen Einkauf fördern. Es sollen aber auch Wiederverwendung und Reparaturen geeigneter Produktgruppen gefördert werden, unter anderem durch die

Implementierung von Zentren und Netzen für Reparatur und Wiederverwendung und so die Schaffung von „Green Jobs“ zu ermöglichen.

In § 9a Absatz 2 Ziffer 3 AWG 2002 wird festgelegt, dass im Abfallvermeidungsprogramm eine Bewertung der Maßnahmen zu erfolgen hat und weiter auf Anhang 1 verwiesen. In Anhang 1 des AWG 2002 sind Beispiele für Abfallvermeidungsmaßnahmen beschrieben. Diese werden in drei Gruppen von Maßnahmenpaketen eingeteilt. Jene, die sich auf die Abfallerzeugung auswirken, wie zum Beispiel die Förderung von effizienter Ressourcennutzung oder die Förderung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten in Richtung umweltfreundlicher und weniger abfallintensiver Produkte und Technologien. Ein weiteres Maßnahmenpaket hat Auswirkungen auf Konzeptions-, Produktions- und Vertriebsphase, als Beispiel die Förderung von Ökodesign, bei der der Umweltaspekt von der Planung des Produktes über den ganzen Lebenszyklus hin mit einbezogen wird.

Maßnahmen, die für eine entsprechende Abfallvermeidung und -verwertung festgelegt wurden, sind ebenfalls in § 14 Absatz 2 AWG 2002 aufgelistet. Die Liste umfasst zehn Pflichten, die für Hersteller, Importeure, Vertreiber, Sammel- und Verwertungssysteme, Abfallsammler, -behandler und Letztverbraucher festgelegt werden können. Aufzeichnungs-, Nachweis- und Meldepflichten, die Einhaltung von diversen Quoten (Abfallvermeidungs-, Sammel-, Recyclingquoten, etc.), Rücknahme und alle weiteren Verwertungsarten, die für die Behandlung des Abfalls notwendig sind oder den Anschluss an ein Sammel- und Verwertungssystem, sind nur einige von den zehn Punkten, die eine entsprechende Abfallvermeidung und -verwertung festlegen sollen. Für diese Arbeit sind die Sammelquoten für EAG relevant, welche in Kapitel 2.1.1 WEEE-RL bereits behandelt wurden.

In § 28a AWG 2002 wird noch explizit auf die Sammlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten aus privaten Haushalten eingegangen. Darin ist festgehalten, dass die Gemeinden eine Abgabestelle für Elektro- und Elektronik-Altgeräte einzurichten haben, die Öffnungszeiten bekannt zu geben sind und eine unentgeltliche Übernahme zu erfolgen hat.

2.2.2 Elektroaltgeräteverordnung

Eine weitere Verordnung, die im Zuge dieser Arbeit von Bedeutung ist, ist die Elektroaltgeräteverordnung oder kurz EAG-VO. Sie wurde im BGBl. II Nr. 121/2005 kundgetan und ist am 13. August 2005 in Kraft getreten.

Die drei Ziele der Verordnung sind,

- die Vermeidung von Elektro- und Elektronikgeräte Abfällen,
- Ressourcennutzung und nachhaltige Entwicklung und
- Beschränkung gefährlicher Stoffe (BMLFUW, 2016).

Wie bereits in Kapitel zur WEEE-RL 2.1.1 erläutert, erfolgt eine Umstellung mit 14. August 2018 von einem geschlossenen Geltungsbereich mit zehn Gerätekategorien, siehe Anhang 1 EAG-VO, auf einen offenen, allumfassenden Geltungsbereich mit sechs Kategorien, siehe

Anhang 1a EAG-VO. Für diese Arbeit sind dabei die Kleingeräte von Bedeutung. Dabei handelt es sich um jene Geräte, bei welchen keine äußere Abmessung mehr als 50 cm beträgt. Darunter fallen Geräte nach Anhang 1a Absatz 5 und 6 der EAG-VO.

„5. Kleingeräte (keine äußere Abmessung beträgt mehr als 50 cm), einschließlich unter anderem

Haushaltsgeräte; Geräte der Unterhaltungselektronik; Leuchten; Ton- oder Bildwiedergabegeräte, Musikausrüstung; elektrische und elektronische Werkzeuge; Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte; medizinische Geräte; Überwachungs- und Kontrollinstrumente; Ausgabautomaten; Geräte zur Erzeugung elektrischer Ströme. In diese Kategorie fallen nicht die von den Kategorien 1 bis 3 und 6 erfassten Geräte.

Dies sind zum Beispiel: Staubsauger, Teppichkehrmaschinen, Geräte zum Nähen, Leuchten, Mikrowellengeräte, Lüftungsgeräte, Bügeleisen, Toaster, elektrische Messer, Wasserkocher, Uhren, elektrische Rasierapparate, Waagen, Haar- und Körperpflegegeräte, Taschenrechner, Radiogeräte, Videokameras, Videorekorder, Hi-Fi-Anlagen, Musikinstrumente, Ton- oder Bildwiedergabegeräte, elektrisches und elektronisches Spielzeug, Sportgeräte, Fahrrad-, Tauch-, Lauf-, Rudercomputer usw., Rauchmelder, Heizregler, Thermostate, elektrische und elektronische Kleinwerkzeuge, medizinische Kleingeräte, kleine Überwachungs- und Kontrollinstrumente, kleine Produktausgabautomaten, Kleingeräte mit eingebauten Photovoltaikmodulen.

6. Kleine IT- und Telekommunikationsgeräte (keine äußere Abmessung beträgt mehr als 50 cm)

Dies sind zum Beispiel: Mobiltelefone, GPS-Geräte, Taschenrechner, Router, PCs, Drucker, Telefone.“

Unter einem „Elektro- und Elektronikgerät“ ist laut § 3 Absatz 1 EGA-VO Folgendes zu verstehen:

„[...] Geräte, die zu ihrem ordnungsgemäßen Betrieb elektrischen Strom oder elektromagnetische Felder benötigen, und Geräte zur Erzeugung, Übertragung und Messung solcher Ströme und Felder, die unter die in Anhang 1 genannten Gerätekategorien fallen und für den Betrieb mit Wechselspannung von höchstens 1000 Volt oder Gleichspannung von höchstens 1500 Volt ausgelegt sind, [...]“

Des Weiteren werden unter „Elektro- und Elektronik-Altgeräten“ jene Geräte, Bauteile, Untergruppen und andere Teile, die zum Entledigungszeitpunkt Teil des Elektro- und Elektronikgerätes waren, verstanden, die laut § 2 AWG 2002 als Abfall gelten.

Die Rückgabe (§ 5 EAG-VO) der Elektro- und Elektronik-Altgeräte aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen an den Sammelstellen (§ 6 der EAG-VO) kostenlos zu erfolgen. Des Weiteren ist gemäß § 6 Absatz 6 der EAG-VO festgehalten, dass gesammelte ganze Elektro- und Elektronik-Altgeräte, die einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden, mindestens zweimal jährlich getrennt zu erfassen sind und entweder selbst vom Sammelbetrieb zur Wiederverwendung vorzubereiten sind oder die Geräte unentgeltlich mindestens zweimal im Jahr vom Sammler an *Reuse*-Betriebe zu übergeben sind.

Für die Vorbereitung zur Wiederverwendung sind laut § 11 Absatz 3 ein ausgebildeter Mechatroniker, sowie qualifiziertes Personal zu beschäftigen.

Für den Hersteller gilt laut § 13 der EAG-VO, dass er den Letztverbraucher aus privaten Haushalten via Printmedien, Internet oder in einer anderen geeigneten Art mindestens über die folgenden fünf Themen zu informieren hat.

- 1. Sinn und Zweck der getrennten Sammlung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten und Nachteile der Beseitigung gemeinsam mit gemischten Siedlungsabfällen,*
- 2. die zur Verfügung stehenden Rückgabe- und Sammelmöglichkeiten,*
- 3. die Sinnhaftigkeit der Wiederverwendung, der stofflichen Verwertung und anderer Formen der Verwertung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten,*
- 4. die potenziellen Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit, die durch das Vorhandensein von gefährlichen Stoffen in Elektro- und Elektronikgeräten bedingt sind, und*
- 5. die Bedeutung des Symbols im Anhang 4.*

Die für die Vorbereitung der Wiederverwendung und Behandlung der Elektro- und Elektronik-Altgeräte erforderlichen Informationen sind laut § 14 EAG-VO dem Inhaber von Behandlungsanlagen innerhalb eines Jahres nach In-Verkehr-Setzen des jeweiligen Typs bereitzustellen und in Form von Handbüchern oder elektronischer Form kostenlos zur Verfügung zu stellen.

Da durch die WEEE-RL nur ein Rahmen für die Umsetzung in nationales Recht gegeben wird, dient in Österreich die Elektroaltgeräte Koordinierungsstelle als neutrales Bindeglied zwischen Herstellern und Sammlern von Elektro- und Elektronikgeräten und der EU (Schuh, 2017). Für die Berechnung der Sammelquoten auf Basis des § 7a EAG-VO (vgl. 2.1.1 Sammelquote) sind gemäß § 23 österreichische EAG-VO die vom Hersteller in Verkehr gesetzten Elektro- und Elektronikgeräte, quartalsmäßig an die Koordinierungsstelle zu melden. Für die vollständige Berechnung sind zusätzlich gemäß § 24 EAG-VO die Massen der einer Wiederverwendung und Behandlung zugeführten EAG bis zum 10. April jedes Kalenderjahres für das vorangegangene Jahr ebenfalls der Koordinierungsstelle zu melden. Diese hat anschließend die Werte zu berechnen und sie an die EU weiterzuleiten.

2.2.3 Abfallbehandlungspflichtenverordnung

Für die Sammlung, Lagerung und Behandlung von Abfällen ist eine weitere Verordnung von großer Bedeutung, die Abfallbehandlungspflichtenverordnung (AbfallBPV). Sie ist mit 1. Jänner 2005 in Kraft getreten und gibt seither vor, welche Mindestanforderungen an Sammlung, Lagerung und Behandlung von Abfällen einzuhalten sind, um die Ziele und Grundsätze der Abfallwirtschaft zu erreichen. Die Verordnung gilt nach Definition laut AWG 2002 für sämtliche gefährlichen und nicht gefährlichen Abfälle, wobei der Abfallbesitzer verpflichtet ist die gesetzlich festgelegten Maßnahmen zu erfüllen (BMLFUW, 2017b).

Laut § 4 Absatz 2 AbfallBPV hat die Lagerung und der Transport von Elektro- und Elektronikaltgeräten so zu erfolgen, dass eine Beschädigung und in deren Folge ein Austreten von gefährlichen Stoffen zu vermeiden ist. Zusätzlich darf eine nachfolgende Zerlegung oder stoffliche Verwertung durch Lagerung und Transport nicht erschwert oder unmöglich gemacht werden.

Die AbfallBPV widmet sich in § 6 der Entfernung von Stoffen, Zubereitungen und Bauteilen, kurz der Schadstoffentfrachtung. Wichtig für die im praktischen Teil dieser Arbeit durchgeführte Probenahme, Sortierung und Demontage von EAG, ist § 6 Zeile 3, die Entfernung von Batterien.

2.2.4 Ökodesignverordnung

Die Verordnung zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte oder kurz Ökodesign-Verordnung 2007 (ODV 2007) wurde im BGBl. II Nr. 126/2007 kundgemacht und ist am 10.08.2007 in Kraft getreten. Sie beruht auf der Umsetzung der 2009/125/EG RL des Europäischen Parlaments und des Rates.

Gemäß § 1 Absatz 1 ODV 2007 ist ein Ziel dieser Verordnung die Ökodesign-Anforderungen für energieverbrauchsrelevante Produkte festzulegen, um den freien Verkehr dieser Produkte im Binnenmarkt zu gewährleisten. Diese Verordnung soll wie in § 1 Absatz 4 festgehalten ist, die Rechtsvorschriften für die Abfallbewirtschaftung nicht beeinträchtigen.

Des Weiteren ist die Definitionen für „Lebenszyklus“, „Wiederverwendung“ und „umweltgerechte Gestaltung“ („Ökodesign“) wichtig. Dabei handelt es sich bei dem Begriff „Lebenszyklus“ um die Entstehungsphasen eines Produktes von der Wiege bis zur Bahre, also um die aufeinanderfolgenden miteinander verbundenen Phasen vom Rohmaterial über das fertige Produkt bis hin zur Entsorgung. Unter „Wiederverwendung“ ist die erneute Inbetriebnahme eines bereits am Ende seiner Erstnutzung angelangten Produktes zu verstehen. Dieses Produkt ist nach einer Rückgabe bei einer Rücknahmestelle, einem Vertreiber, Recyclingbetrieb oder Hersteller und einer anschließenden Reparatur bzw. Aufarbeitung wieder für denselben Zweck oder einen anderen Zweck zu verwenden, ohne eine Änderung an der Gestalt des Produktes vorzunehmen. Die Definition von „Ökodesign“ bzw. „umweltgerechte Gestaltung“, wonach auch die Verordnung benannt ist, ist die

Umweltaspekte eines Produktes während seiner gesamten Existenzphasen zu verbessern und diese Änderungen bereits in der Produktgestaltungsphase einfließen zu lassen (BMWA, 2007).

Um Ökodesign-Anforderungen festzulegen, sind laut § 15 ODV 2007 ergänzende Rechtsvorschriften in der 2009/125/EG RL erlassen, diese Durchführungsmaßnahmen sind zusammen mit der Anlage I und der Anlage II der ODV 2007 dafür zu verwenden. In Anlage I ODV 2007 ist die „Methode zur Festlegung allgemeiner Ökodesign-Anforderungen“ erläutert, dabei sind wesentliche Umweltaspekte des Produktes zu betrachten. In Teil 1 sind, die Ökodesign-Parameter (z.B.: Auswahl und Einsatz von Rohmaterial, Nutzung und Ende der Lebensdauer, etc.) für die Produkte zu bestimmen. Dies erfolgt indem die unterschiedlichen Lebenszyklen eines Produktes mit voraussichtlichen Umweltaspekten (z.B.: Verbrauch an Material, Energie, etc., Umweltbelastungen durch Lärm oder Schwingung, und vieles mehr) zu analysieren sind und im Anschluss daran sind die Verbesserung der Umweltaspekte in Relation zu den voraussichtlichen Umweltaspekten zu beurteilen. Des Weiteren wird in Teil 1 unter Punkt drei, den Beurteilungskriterien im Unterpunkt f, unter anderem auf den „Zeitaufwand für die Zerlegung“, sowie die „Zugänglichkeit zu wertvollen Bauteilen und Materialien und zu gefährlichen Stoffen“ eingegangen. Diese Punkte sind für in der Arbeit durchgeführten Demontagevorgänge von großer Bedeutung und werden in den entsprechenden Kapiteln näher diskutiert.

In Teil 2 sind die Anforderungen an die Bereitstellung von Informationen geregelt. Sofern in den Durchführungsmaßnahmen festgelegt, sind vom Hersteller Angaben über den Umgang mit dem Produkt, seine Nutzung oder sein Recycling an Stellen weiterzugeben, die außerhalb des Wirkungsbereichs des Herstellers liegen, zum Beispiel die Information für Entsorgungsbetriebe zur Zerlegung, Recycling und Deponierung des Altprodukts. Sofern dies möglich ist, sind diese Informationen aus Teil 2 immer am Produkt selbst anzubringen.

Abschließend sind in Teil 3 noch Anforderungen an den Hersteller geregelt. Dabei ist festgehalten, dass die Hersteller verpflichtet sind, eine Analyse des Produktes für dessen gesamten Lebenszyklus durchzuführen. Die konstruktiven Lösungen für eine bessere Umweltverträglichkeit, sind so zu wählen, dass diese einen sinnvollen Kompromiss zwischen Umweltschutz und anderen Erfordernissen wie Funktion, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und vieles mehr erreichen. In Anlage II dagegen sind spezifische Ökodesign-Anforderungen festzulegen, die auf die Reduzierung eines bestimmten Materials abzielen, z.B.: die Mindestanforderung für die Verwendung von Recyclingmaterial.

2.3 Normen

ÖNORM S 2106

Es handelt sich bei der ÖNORM S 2106 um ein unverbindliches Regelwerk, das mit 01.12.2015 zurückgezogen wurde, da sich die Inhalte in großen Teilen mit der EAG-VO und der AbfallBPV überschneiden (Tesar and Öhlinger, 2009, S. 34).

Die ÖNORM S 2106 – Verwertung und Beseitigung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten gibt einen Leitfaden für Personen vor, die sich mit der Sammlung, Verwertung und Beseitigung von EAG befassen. Um eine möglichst hohe Verwertungsrate zu erreichen, ist es notwendig die Elektro- und Elektronik-Altgeräte zu zerlegen und in gefährliche und nicht gefährliche Teile bzw. Fraktionen zu trennen. Ziel dieser Norm ist neben der ordnungsgemäßen Verwertung und Beseitigung auch ein ordnungsgemäßer Transport nach ADR, auf den hier nicht näher eingegangen wird (ON, 2005).

3 Batterien in Elektrokleingeräten

Um den gesetzlich vorgegebenen Rahmen in seiner tatsächlichen Umsetzung von der Sammlung bis zur Demontage zu betrachten, folgt in diesem und dem nächsten Kapitel eine praktische Auseinandersetzung einerseits mit dem Thema Elektrokleingeräte und Schadstoffentfrachtung am Beispiel von Batterien und andererseits der Demontage von Mobiltelefonen mit dem Augenmerk auf Ökodesign und *Reuse*.

3.1 Methodik und Arbeitsweise

Um festzustellen wie groß der Anteil der Batterien in der Fraktion der Elektrokleingeräte (EKG) ist und um welche Batterie- bzw. Akkutypen es sich handelt, wurden vier Probenahmen an drei Standorten in den Monaten November, Februar und März durchgeführt. Des Weiteren sollte Demontageaufwand, Zustand und Art der Verbauung von Batterie bzw. Akku im Gerät näher betrachtet werden.

3.1.1 Probenahme, Sortierung und Demontage

Um zur Probe zu gelangen wurde in Anlehnung an die ÖNORM S 2127, ein Probenahmeplan erstellt (siehe Kapitel 3.2). Im Anschluss an die Probenahme erfolgte eine Sortierung in sieben Sortierfraktionen, die nachstehend näher beschrieben sind.

- **EKG, ohne Batterie** – bei dieser Fraktion handelt es sich um jene Elektrokleingeräte, die ohne Batterien mit Energie versorgt werden. Zum Beispiel Fritteusen, Bügeleisen, Kaffeemaschinen und viele mehr meist Geräte mit Kabel.
- **EKG, Batterie fehlend, ohne Demontage** – unter diese Sortierfraktion fallen Elektrokleingeräte, welche für ihre Funktionstüchtigkeit eine Batterie benötigen und deren Entnahme ohne Werkzeug erfolgt. Zum Zeitpunkt der Sortierung befindet sich die Batterie jedoch nicht mehr im Elektrokleingerät. Das heißt, der Letztverbraucher hat vor der Entledigung des Elektrokleingerätes die Batterie entfernt oder sie wurde im Sammel- und Transportprozess entnommen oder verloren.
- **EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage** – damit sind Elektrokleingeräte gemeint, die für ihre Funktionsfähigkeit eine Batterie benötigen und deren Entnahme ohne Werkzeug erfolgen kann. Zum Zeitpunkt der Sortierung befindet sich mindestens eine Batterie im Elektrokleingerät.
- **EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage** – gemeint sind jene Elektrokleingeräte, welche für ihre Funktion eine Batterie benötigen und deren Entnahme nicht ohne zusätzliche Hilfsmittel durchgeführt werden kann, z.B.: elektrische Zahnbürsten, Saugroboter, Spielzeug und Rasierer, etc.
- **Batterien, lose** – diese Fraktion beinhaltet Batterien, die zum Zeitpunkt der Sortierung lose in der Probe aufzufinden sind.

- **Unklar** – darunter fallen all jene Elektrokleingeräte, die bei schneller Betrachtung keiner oben genannten Sortierfraktion eindeutig zugeordnet werden können. Sie werden nach der Sortierung als Erstes untersucht, um sie einer der oben genannten Kategorien zuzuordnen.
- **Fehlwurf** – bei dieser Fraktion handelt es sich um Abfälle, die in der Probe gefunden werden und bei denen es sich eindeutig nicht um Elektrokleingeräte handelt (z.B.: Holz, Großgeräte, Beleuchtungskörper > 500 mm, Bildschirmgeräte, und vieles mehr).

Von diesen sieben Sortierfraktionen sind die folgenden vier Fraktionen für eine weitere inhaltliche Betrachtung in dieser Arbeit relevant:

- **EKG, Batterie fehlend, ohne Demontage**
- **EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage**
- **EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage**
- **Batterie, lose**

In Abbildung 3 sind die Sortierbehältnisse dargestellt, die zuerst im leeren, sauberen Zustand und im Anschluss an die Sortierung erneut gewogen wurden. Wie bereits erwähnt, erfolgte die Demontage und Zuordnung der Fraktion *Unklar* als Erstes. Wobei nach der Zuordnung in die anderen Fraktionen ein erneutes Wiegen der Fraktionen notwendig war. Anschließend wurde bei der Fraktion *EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage* die Batterie entfernt und in einem separaten Behälter gesammelt und verwogen. Die Gerätefraktion *EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage* wurden im nächsten Schritt zuerst fotografiert und in den Aufnahmebogen in Anhang 1 eingetragen bevor zur Demontage übergegangen wurde. Dabei war der Demontagevorgang zu dokumentieren und das EKG vor und nach der Demontage zu fotografieren (siehe Anhang 2). Die Batterien der Fraktion *EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage* wurden in einem separaten Behälter gesammelt und nach der Demontage gewogen und fotografiert.



Abbildung 3: Behälter für die Sortierung

Im Labor wurden die *Batterie*-Fraktionen nochmals aufgetrennt, fotografiert und verwogen (Genauigkeit der Waage 0,1 g). Die Sortierung der Batterien erfolgte in die Fraktionen *Li-Batterien* (Lithium Batterien) und *andere Batterien*.

3.1.2 Auswertung

Um festzustellen wie stark die Ergebnisse der Sortierungen voneinander abweichen und Ausreißer in den gesammelten Daten zu ermitteln, wurden sowohl der Mittelwert als auch der Median ermittelt. Aus den Werten wurden jeweils Boxplot-Diagramme erstellt, die auf den ersten Blick den Bereich der generierten Daten darstellen (vgl. Abbildung 4). In der Box liegen die mittleren 50 % der Werte, wobei der Strich in der Box den Median darstellt. Außerhalb der Box liegen die Antennen bzw. Whisker, diese können maximal 1,5-mal so groß sein wie der Interquartilsabstand. Um Ausreißer darzustellen zu können, endet der Whisker nicht genau bei diesem Wert, sondern beim letzten Datenwert der im Bereich des Whiskers liegt. Als Interquartilsabstand wird der Bereich zwischen dem oberen und unteren Quartil (75 %- und 25 %-Quartil) bezeichnet. In den Boxplot-Diagrammen in dieser Arbeit wurde zusätzlich noch der Mittelwert durch eine kleines rotes Quadrat dargestellt (Keller, 2013).

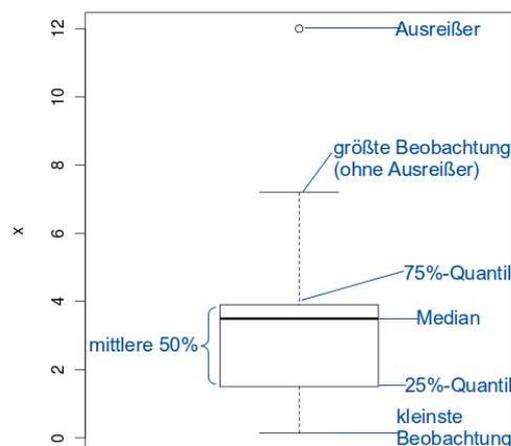


Abbildung 4: Darstellung eines Boxplot-Diagramm mit Beschriftung der Bereiche (Keller, 2013)

Für die Berechnung der dafür benötigten Daten wurden die qualifizierten Stichproben der Sortierungen herangezogen und Massenanteile berechnet. Damit kann das gewonnene Ergebnis zuerst interpretiert werden und anschließend Rückschlüsse über die Auswirkungen der Unterschiede bei Sammlung, Transport, Zerstörungsgrad und Probenahmegerät der Stichproben gezogen werden.

Im Anschluss daran wurde die Auswertung der Demontage durchgeführt. Um zu bestimmen wie groß der Demontageaufwand der verschiedensten EKG war, erfolgte die Einteilung der demontierten Geräte in sieben Kategorien. Diese sind nachstehend näher beschreiben und basieren auf den Demontagebeschreibungen, die während des Vorgangs in Stichworten mitnotiert wurden.

- **Kategorie 1** – eine Schraube lösen
- **Kategorie 2** – mehrere Schrauben lösen
- **Kategorie 3** – öffnen mit oder ohne Schraube, über einen Mechanismus
- **Kategorie 4** – eine/mehrere Schrauben lösen, mit Aufbrechen bzw. leichter Gewaltanwendung
- **Kategorie 5** – kompliziertere bzw. aufwändigere Demontage
- **Kategorie 6** – öffnen nur durch rohe Gewalt möglich
- **Kategorie 7** – Fehlwurf

Zusätzlich zu diesen Kategorien wurden auch die Anzahl jener Geräte ermittelt, die durch eine Demontage zu öffnen waren, in deren Inneren jedoch bereits vom Endnutzer die Batterien entnommen wurden.

Auf Basis der Fotodokumentation an den Standorten und bei der Sortierung der Batterien im Labor erfolgt abschließend eine Beschreibung der Zustände der Batterien bzw. Akkus, die gefunden wurden.

3.2 Probenahmeplan

Um die Vergleichbarkeit aller vier beprobten Elektroaltgerätefraktionen zu gewährleisten, erfolgte die Erstellung des Probenahmeplans in Anlehnung an die ÖNORM S 2127 „Grundlegende Charakterisierung von Abfallhaufen oder von festen Abfällen aus Behältnissen und Transportfahrzeugen“.

Bereits vorab war bekannt, dass es sich bei dem zu beprobenden Abfall um ein sehr weit gefächertes Korngrößenspektrum handelt. Zur Homogenität bzw. Heterogenität der unterschiedlichen Batterie- bzw. Akkutypen und deren Demontageaufwand konnte jedoch im Voraus keine Aussage getroffen werden.

Die zu untersuchende Gesamtmenge an Elektroaltgeräten war in jedem Fall geringer als 200 t, weswegen zwei Teilmengen getrennt voneinander beprobt und demontiert werden mussten. Somit war der Plan, zwei qualifizierte Stichproben mit je zehn Stichproben zu nehmen.

Für die Mindestprobenmenge wurde auf Grundlage der in der ÖNORM S 2127 angegebenen Berechnung (siehe Formel 2 und 3) eine Mindestprobenmenge von 30 kg für eine Stichprobe berechnet. Für das Größtkorn wurde ein Wert von 500 mm angenommen, da auf Basis der EAG-VO die äußere Abmessung für Kleingeräte nicht mehr als 500 mm betragen darf. Mit den je zehn Stichproben, die für eine qualifizierte Stichprobe zu ziehen sind, ist laut ÖNORM S 2127 eine Menge von 300 kg zu einer qualifizierten Stichprobe zu vereinigen, siehe Formel 4.

$$\text{Probenmenge einer Stichprobe [kg]} = 0,06 \cdot \text{Größtkorn (95\% - Perzentil)[mm]} \quad (2)$$

$$0,06 \cdot 500 [mm] = 30 [kg] \quad (3)$$

$$30 [kg] \cdot 10 \text{ Stichproben} = 300 [kg] \text{ qualifizierte Stichprobe} \quad (4)$$

3.3 Probenahme Standort A1 am 24.11.2016

3.3.1 Standort A1

Im Zuge von Sammeltätigkeiten der einzelnen Gemeinden, Verbänden und befugten Dienstleistern werden die gesammelten Elektroaltgeräte im Umkreis bzw. im Land Steiermark unter anderem zum Standort A1 gebracht. Dort erfolgen eine Schadstoffentfrachtung, sowie eine Behandlung der Elektroaltgeräte. Um die Probenahme, die dabei vor Ort getroffenen Entscheidungen und die Ergebnisse nachvollziehen zu können, wird in den folgenden Kapiteln die Probenahme am 24.11.2016 näher beschrieben.

3.3.2 Probenahme am Standort A1 Sortierung 1 (A1.S1)

Wie bereits in Kapitel 3.2 erläutert, wird die Probenahme in Anlehnung an die ÖNORM S 2127 bewerkstelligt. Vor Ort konnte die Probenahme jedoch nicht laut dem zuvor erstellten Probenahmeplan durchgeführt werden. Gründe dafür waren einerseits der laufende Betrieb und die Anpassung an die vor Ort vorgefundenen Gegebenheiten, sowie die Praktikabilität und das Verhältnis von Aufwand zu Zeit.

Die am Standort gesammelten Elektrokleingeräte waren in drei Kompartimente aufgeteilt, die im Freien ohne Überdachung gelagert wurden. Beim ersten Kompartiment lagerten die bereits schadstoffentfrachteten Elektrokleingeräte, hier waren bereits Kabel von den Elektrokleingeräten entfernt und Laptops, sowie Fernsehgeräte vom Haufwerk separiert worden. Deshalb war eine Probenahme dieses Kompartiments nicht repräsentativ genug. Das zweite Kompartiment bildeten die unbehandelten Elektrokleingeräte, die ebenfalls als Haufwerk lagerten. Die Elektrokleingeräte dieses Haufens wurden von Arbeitern einer Schadstoffentfrachtung und Wertstoffgewinnung (u.a. Kupferkabel) unterzogen, um sie im ersten Kompartiment zu lagern. Da das Unternehmen im Laufe des Tages eine neue Lieferung von Elektrokleingeräten erwartete, war das Haufwerk massenmäßig bereits relativ gering und durch die Behandlung zur Umlagerung auch bereits sehr ausgesucht und beschädigt. Deswegen wurde der dritte Lagerbereich für eine Probenahme ausgewählt. Die Elektrokleingeräte aus Altstoffsammelzentren (ASZ) lagerten in diesem Bereich in Gitterboxen, siehe Abbildung 5.



Abbildung 5: Gitterboxen Lager am Standort A1 am 24.11.2016

Der Inhalt dieser Boxen ist bei der Sammlung angefallen und wurde am Standort A1 noch keiner Separation oder Behandlung unterzogen. Es handelte sich dabei um 31 Gitterboxen, laut Vorarbeiter fasst eine Gitterbox rund 250 kg Elektrokleingeräte, dies ergibt eine zu beprobende Menge von 7.750 kg (vgl. Formel 5). Von diesen 31 Gitterboxen wurden 4 Boxen für eine Sortierung und Demontage ausgewählt. Aufgrund des Zeitpunktes der Probenahme (Mitte November) befand sich bereits viel Kabelwerk, durch ausrangierte Weihnachtsbeleuchtung in den Sammelboxen. Bei der Auswahl der vier Boxen wurde drauf geachtet möglichst jene Gitterboxen zu wählen, welche ein gutes Gesamtbild der Sammlung ergaben.

$$m_{\text{Probe, original}} = 31 \cdot 250 \text{ [kg]} = 7.750 \text{ [kg]} \quad (5)$$

Die ausgewählten Gitterboxen wurden zuerst gewogen (Brückenwaage Genauigkeit = 0,5 kg) und anschließend sortiert. Die Daten der Wägung der Sortierung A1.S1 sind in Tabelle 1 ersichtlich.

Hinterher erfolgte die Sortierung und Demontage wie in Kapitel 3.1 beschrieben. Bei der Sortierung wurde nicht nach Zahlenreihenfolge vorgegangen, weswegen auch erst nach der ersten Sortierung (A1.S1.3) klar wurde, dass zusätzlich die Fraktionen *Batterie, lose* und *Unklar* in die Sortierung mit aufzunehmen waren. Die aus den vier Gitterboxen gesammelten Fraktionen mit Batterien (*EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage* und *EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage*), sowie die Fraktion *Unklar* wurden schließlich demontiert. In Tabelle 2 sind die Gewichte der Fraktionen *EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage*, *EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage* und *Batterie, lose* erneut aufgelistet. In der anschließenden Zelle sind die Mengen, der aus den Geräten entnommenen Batterien angeführt, diese wurden im Labor in die Fraktion *Li-Batterien* und *andere Batterien* sortiert und erneut gewogen (Genauigkeit = 0,1 g). Die Daten für die *Lithium* Batterien aus der Sortierung im Labor finden sich in der letzten Spalte der Tabelle 2.

Tabelle 1: Gewichte der Sortierung von A1.S1

Sortierung A1.S1	EKG gesamt [kg]	EKG, ohne Batterie [kg]	EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage [kg]	EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage [kg]	EKG, Batterie fehlend, ohne Demontage [kg]	Batterie, lose [kg]
Gitterbox 1	201,00	181,49	7,40	5,91	6,20	0,00
Gitterbox 2	246,00	230,14	12,22	1,03	2,43	0,18
Gitterbox 3	266,00	251,74	6,97	3,69	3,60	0,00
Gitterbox 4	271,00	237,66	9,07	5,60	17,88	1,33
Gesamtgewicht	984,00	901,03	35,66	16,13	30,11	1,51

Tabelle 2: Gewichte vor und nach der Demontage von A1.S1

Demontage A1.S1	Gesamtgewicht der Geräte mit Batterien [kg]	Gewicht der Batterien [kg]	Gewicht der Li-Batterien [kg]
EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage	35,66	5,35	0,37
EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage	16,13	4,80	0,93
Batterien, lose	1,51	1,51	0,17
EKG, Batterie vorhanden, gesamt	53,30	11,66	1,30

3.3.3 Probenahme am Standort A1 Sortierung 2 (A1.S2)

Für die zweite Sortierung wurde ein LKW direkt nach der Entladung beprobt. Die Eingangswiegung ergab ein Gewicht von 7.360 kg (Brückenwaage auf 10 kg genau). Die Elektrokleingeräte für die Stichproben wurden direkt vom entladenen Haufen mit Hilfe eines Greifers in vier Gitterboxen gefüllt. Um eine repräsentative Probe zu nehmen, wurde darauf geachtet, dass die Probenentnahme gleichmäßig über den ganzen Haufen erfolgte. Abbildung 6 zeigt die Skizze des Haufwerks und die Probenahmestellen im Haufen. Die vier mit Sortiermaterial befüllten Gitterboxen (vgl. Abbildung 6) wurden, wie in 3.1 beschrieben, verwogen, sortiert und demontiert. Die Ergebnisse der Wiegunen vor und nach Sortierung sind der Tabelle 3 und Tabelle 4 zu entnehmen.

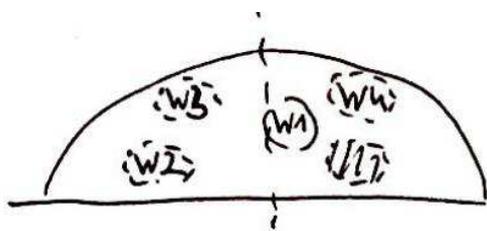


Abbildung 6: Links Haufwerk mit Probenahmestellen und rechts die vier Gitterboxen mit Material für Sortierung

Tabelle 3: Gewichte der Sortierung von A1.S2

Sortierung A1.S2	EKG, gesamt [kg]	EKG, ohne Batterie [kg]	EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage [kg]	EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage [kg]	EKG, Batterie fehlend, ohne Demontage [kg]	Batterie, lose [kg]
Gitterbox 1	210,00	200,49	2,01	1,86	3,47	0,46
Gitterbox 2	234,50	220,12	1,42	3,63	7,49	0,59
Gitterbox 3	248,50	225,47	0,87	8,12	10,98	1,05
Gitterbox 4	310,00	297,66	3,26	3,95	4,36	0,77
Gesamtgewicht	1.003,00	943,74	9,37	20,72	26,30	2,87

Tabelle 4: Gewichte vor und nach der Demontage von A1.S2

Demontage A1.S2	Gesamtgewicht der Geräte mit Batterien [kg]	Gewicht der Batterien [kg]	Gewicht der Li-Batterien [kg]
EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage	9,37	1,57	0,01
EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage	20,72	3,41	0,09
Batterien, lose	2,87	2,87	1,69
EKG, Batterie vorhanden, gesamt	32,96	7,85	0,10

Auffällig bei der Probe aus A1.S2 war die starke Beschädigung der Elektroaltgeräte, die auf eine vorherige Komprimierung für den LKW-Transport und auf die Entnahme mit dem Greifer zurückzuführen ist. Bei der Sortierung der Gitterbox A1.S2.3 wurde eine Wurstschneidmaschine und bei der Gitterbox A1.S2.4 ein großer Elektromotor in dem als

Elektrokleingeräte gesammelten Abfall gefunden. Somit war die Einhaltung der äußeren Abmessung von maximal 500 mm für ein Elektrokleingerät eindeutig nicht gegeben. Die Wurstschneidmaschine fällt laut EAG-VO Anhang 1 nicht unter die Kategorie Elektrokleingeräte, denn dabei handelt es sich um ein Gerät mit Kantenlänge > 500 mm und per Definition um ein „Gerät zum Kochen oder zur Verarbeitung sonstiger Lebensmittel“, weswegen es unter die Kategorie 1 Haushaltsgroßgeräte fällt. Da der Motor keine äußere Abmessung größer als 500 mm aufwies, fällt er unter die Kategorie Elektrokleingerät, ab 15. August 2018 fällt dieser laut EAG-VO Anhang 1a unter die Kategorie 4 Großgeräte, da ein Motor ein „Gerät zur Erzeugung elektrischer Ströme“ ist.

3.4 Probenahme Standort B am 15.02.2017

3.4.1 Standort B

Beim Standort B handelt es sich um einen Schrottplatz in Niederösterreich in der Umgebung von Wien. Die dort gelagerten Elektrokleingeräte wurden im Dezember 2016 gesammelt und seither auf einem Lagerplatz im Freien, nicht überdacht gelagert. Bei diesem Standort wurde nur ein Haufwerk beprobt, welches aus gewerblich gesammelten Elektrokleingeräten bestand.

3.4.2 Probenahme am Standort B Sortierung 1, 2 und 3 (B.S1, 2 und B.S3)

Vor Ort war ein Haufwerk in Kegelform, siehe Abbildung 7, mit den Abmessungen Länge $l = 8$ m, Breite $b = 6$ m und Höhe $h = 3$ m zu beproben. Da das Gesamtgewicht des Haufens unbekannt war, erfolgte eine Schätzung der Haufenmasse. Dafür wurde mit den Abmessungen zuerst das Volumen bestimmt (vgl. Formel 6). Anschließend wurde ein Baggervolumen von $2,5 \text{ m}^3$ angenommen. Bei den Probenahmen ergab sich für die durchschnittliche Menge, die mit einer Baggerschaufel entnommen wurden, ein Gewicht von ca. 600 kg. Somit konnte für das gesamte Haufwerk ein Gewicht von rund 11,5 t berechnet werden (vgl. Formel 7 und 8).

$$\text{Volumen des Haufwerks } [m^3] = 8 \cdot 6 \cdot 3 = \frac{144 [m^3]}{3 (\text{Kegelform})} = 48 [m^3] \quad (6)$$

$$\text{Baggerfahrten } [-] = \frac{48 [m^3]}{2,5 [m^3]} = 19,2 [-] \quad (7)$$

$$\text{Masse des Haufwerks } [t] = \frac{600 [kg] \cdot 19,2}{1000} = 11,5 [t] \quad (8)$$



Abbildung 7: Haufwerk am Standort B seitlich (links) und von vorne (rechts)

Die Entnahme der Probe erfolgte mit einem Radlader. Die entnommene Radladerschaufel wurde anschließend auf einer Brückenwaage (Genauigkeit 10 kg) gemessen und beim Sortierplatz in einer Halle abgekippt. Danach konnte mit der Sortierung und Demontage, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, begonnen werden.

Das EKG-Haufwerk sollte wie bei der Probenahme A1.S1 auch vier Mal beprobt werden. Nach Sortierung der zweiten Probe wurde jedoch klar, dass drei Beprobungen bereits für eine repräsentative Probenmenge ausreichen. Aufgrund dessen konnte durch die Fotodokumentation der Sortierung und Demontage im Labor eine Trennung der Batterien in S1 und S2 durchgeführt werden. Am Standort B war nur dieses eine Haufwerk zur Beprobung vorhanden, die Werte dafür sind in Tabelle 5 und Tabelle 6 ersichtlich.

Tabelle 5: Gewichte der Sortierung am Standort B

Sortierung B.S	EKG, gesamt [kg]	EKG, ohne Batterie [kg]	Fehl-wurf [kg]	EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage [kg]	EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage [kg]	EKG, Batterie fehlend, ohne Demontage [kg]	Batterie, lose [kg]
Sortierung 1	520,0	463,6	41,02	8,70	2,56	6,21	0,91
Sortierung 2	600,0	511,0	54,00	7,56	1,56	15,52	2,04
Sortierung 3	630,0	565,0	42,00	10,94	6,67	3,80	0,34
Gesamt-gewicht	1.750,0	1.539,6	137,02	27,20	10,79	25,53	3,29

Tabelle 6: Gewichte vor und nach der Demontage am Standort B

Demontage B.S	Gesamtgewicht der Geräte mit Batterien [kg]	Gewicht der Batterien [kg]	Li-Batterien, gesamt [kg]
EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage	27,20	3,77	0,51
EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage	10,79	0,99	0,16
Batterien, lose	3,29	3,29	0,65
EKG, Batterie vorhanden, gesamt	41,28	8,05	0,68

Beim beprobten Material war sehr auffällig, dass der organische Anteil (z.B.: Erde und Holz) in der Probe sehr hoch war. Deswegen wurde bei dieser Sortierung eine neue Fraktion *Fehlwurf* zu den bereits vorhandenen Fraktionen hinzugefügt. Der hohe Anteil an Organik könnte durch die lange Lagerung (~2 Monate), einen vorher bereits verschmutzten Lagerplatz und/oder durch Einträge von dem nebenan gelegenen Holzlagerplatz herrühren. Die Fraktion *Fehlwurf* wurde zwar in den nachfolgenden Sortierungen beachtet, es waren jedoch keine relevanten Fehlwürfe in den Sortierungen A2 und C vorhanden, weswegen diese in den Kalkulationen für A2 und C nicht mehr aufscheint.

3.5 Probenahme Standort A2 am 20.03.2017

3.5.1 Standort A2

Die dritte Probenahme, Sortierung und Demontage erfolgte erneut am Standort A. Wie schon beim ersten Mal waren die EKG in drei Kompartimente unterteilt. Ein bereits schadstoffentfrachteter Haufen, bei dem die Kabel (Wertstoffgewinnung) an den EKG schon abgeschnitten waren und Laptops sowie Bildschirme aussortiert wurden. Ein zweiter Haufen der zum Zeitpunkt der Probenahme schadstoff- und wertstoffentfrachtet wurde und ein drittes Kompartiment mit Gitterboxen.

3.5.2 Probenahme am Standort A2 Sortierung 1 (A2.S1)

Da nicht bekannt war, ob am Tag der Sortierung eine neue Lieferung an EKG am Standort eintreffen würde, wurde für die erste Sortierung aus dem Haufen vor den Lagerboxen die Probe genommen. Beim beprobten Haufwerk handelt es sich um jenes, welches während der Probenahme von einem Arbeiter schadstoff- und wertstoffentfrachtet wurde. Die Probenahme erfolgte durch einen Radlader am rechten Teil des Haufens. Die entnommenen Radladerschaufeln wurden vor Ort in Kunststoffboxen gefüllt (vgl. Abbildung 8).



Abbildung 8: Skizze der Probenahme A2.S1 (links) und Haufwerk (rechts)

Die beladenen Kunststoff-Paloxen wurden anschließend auf einer Brückenwaage verwogen (Genauigkeit 0,5 kg), um das Gewicht der Probe festzustellen und sicher zu gehen, dass die entnommene Masse für die Repräsentativität ausreicht. Die Masse des zu beprobenden Haufens war bei der Entnahme der Probe bereits sehr gering und wurde auf zwei bis drei Tonnen geschätzt. Deswegen war für eine repräsentative Probenahme die entnommene Masse von 571,5 kg bereits ausreichend. Nach der Wiegung wurden den Boxen Nummern zugeordnet und mit dem Sortiervorgang (siehe Kapitel 3.1) der Box mit der Nummer 2 begonnen. Die fertig sortierten Fraktionen wurden anschließend verwogen (siehe Tabelle 7 und Tabelle 8) und erst dann startete die Sortierung der nächsten Kunststoffbox. Nach Beendigung der Sortierung aller Kunststoffboxen konnte die Demontage durchgeführt werden.

Tabelle 7: Gewichte der Sortierung von A2.S1

Sortierung A2.S1	EKG, gesamt [kg]	EKG, ohne Batterie [kg]	EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage [kg]	EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage [kg]	EKG, Batterie fehlend, ohne Demontage [kg]	Batterie, lose [kg]
Gitterbox 1	130,00	118,41	1,60	2,25	7,37	0,37
Gitterbox 2	154,50	140,86	0,84	3,82	8,97	0,01
Gitterbox 3	151,00	133,50	1,83	4,58	9,88	1,21
Gitterbox 4	136,00	116,72	0,27	11,63	6,65	0,73
Gesamtgewicht	571,50	509,49	4,54	22,28	32,87	2,32

Tabelle 8: Gewichte vor und nach der Demontage von A2.S1

Demontage A2.S1	Gesamtgewicht der Geräte mit Batterien [kg]	Gewicht der Batterien [kg]	Li-Batterien, gesamt [kg]
EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage	4,54	0,43	0,06
EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage	22,28	3,10	0,64
Batterien, lose	2,32	2,32	0,32
EKG, Batterie vorhanden, gesamt	29,14	5,85	0,70

3.5.3 Probenahme am Standort A2 Sortierung 2 (A2.S2)

Im Anschluss an die Beprobung des Haufens und die Sortierung, sowie Demontage, wurden für eine zweite Probenahme die gesammelten EKG in den Gitterboxen beprobt. Bei der Gesamtmenge handelte es sich um 22 Gitterboxen, mit jeweils 250 kg und einem Gesamtgewicht von rund 5,5 t (vgl. Formel 9).

$$\text{Masse des Gitterboxenmaterials [t]} = \frac{22 \cdot 250 \text{ [kg]}}{1000} = 5,5 \text{ [t]} \quad (9)$$

Aus den 22 Gitterboxen wurden willkürlich vier Boxen ausgewählt, siehe Abbildung 9. Auf einer Brückenwaage (Genauigkeit = 0,5 kg) erfolgte die Wiegung und Zuordnung der Nummern. Danach wurden die Gitterboxen wieder in die unterschiedlichen Fraktionen, vgl. Kapitel 3.1, sortiert und anschließend demontiert. Die Massen der Fraktionen sind in Tabelle 9 und Tabelle 10 ersichtlich.

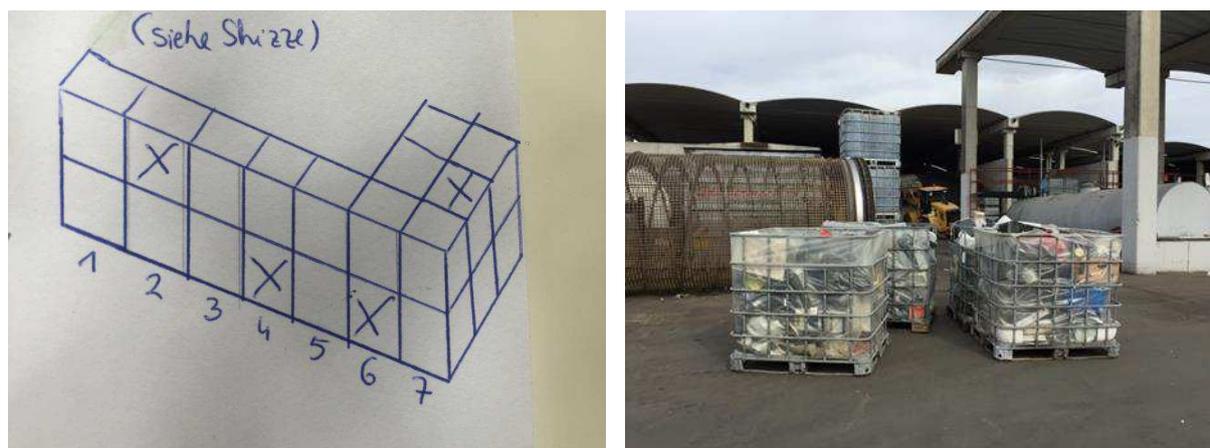


Abbildung 9: Skizze des Gitterboxenlagers mit den vier ausgewählten Boxen (links) und die vier Boxen nach Entnahme (rechts)

Tabelle 9: Gewichte der Sortierung von A2.S2

Sortierung A2.S2	EKG, gesamt [kg]	EKG, ohne Batterie [kg]	EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage [kg]	EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage [kg]	EKG, Batterie fehlend, ohne Demontage [kg]	Batterie, lose [kg]
Gitterbox 1	210,00	198,83	0,46	1,07	9,64	0,00
Gitterbox 2	234,50	211,36	6,54	5,96	10,05	0,59
Gitterbox 3	226,97	226,97	1,96	2,77	16,37	0,43
Gitterbox 4	292,46	292,46	2,03	3,64	11,38	0,49
Gesamtgewicht	963,93	929,62	10,99	13,44	47,44	1,51

Tabelle 10: Gewichte vor und nach der Demontage von A2.S2

Demontage A2.S2	Gesamtgewicht der Geräte mit Batterien [kg]	Gewicht der Batterien [kg]	Li-Batterien, gesamt [kg]
EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage	10,99	3,10	0,07
EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage	13,44	2,85	0,16
Batterien, lose	1,51	1,51	1,36
EKG, Batterie vorhanden, gesamt	25,94	7,46	0,23

3.6 Probenahme Standort C am 23.03.2017

3.6.1 Standort C

Beim Standort C für die vierte und letzte Probenahme handelt es sich um einen Schrottplatz in der Steiermark. Das zu beprobende Material wurde am Tag der Probenahme angeliefert. Hier war, sowie bei Standort B, nur ein großes Haufwerk zu beproben, insgesamt wurden jedoch zwei voneinander getrennte Sortierungen der Probe durchgeführt.

3.6.2 Probenahme am Standort C (C.S)

Das zu beprobende Haufwerk hatte ein Gewicht von sechs Tonnen, wobei das Probenmaterial bereits sehr zerstört war. Laut Informationen vor Ort war das Material bereits mehrfach umgelagert worden, wodurch sich der vorgefundene Zerstörungsgrad erklären lässt.

Die Entnahmestelle der ersten Probe erfolgte, wie in Abbildung 10 dargestellt, auf der linken Seite des Haufens. Dabei wurden mit einem Radlader zwei Radladerschaufeln an Material entnommen und im Anschluss daran sortiert, fotografiert und verwogen. Da die Sortierung

der Probe nicht wie die anderen drei Mal in einer Halle erfolgte, sondern im Freien, wurde vor der Demontage der Fraktion *Batterie vorhanden, mit Demontage* von C.S1, die zweite Probe genommen und sortiert.

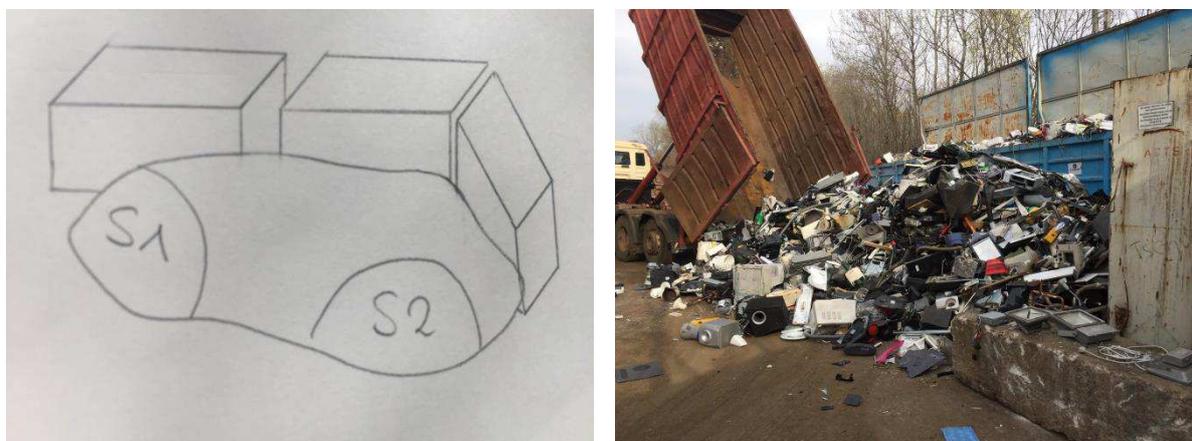


Abbildung 10: Haufwerk mit Probenahmestellen (links) und Entladung des Materials (rechts)

Für die zweite Probe wurden erneut zwei Radladerschaufeln, diesmal aber aus dem vorderen Teil des Haufwerks (vgl. Abbildung 10) entnommen. Das Material ist im Freien sortiert, fotografiert und gewogen worden. Erst im Anschluss erfolgte ein Standortwechsel, in eine Halle, in welcher dann die Zerlegung der beiden zu demontierenden Fraktionen durchgeführt wurde. Die Daten der Sortierung und Demontage sind in Tabelle 11 und Tabelle 12 ersichtlich und werden in der nachfolgenden Diskussion näher betrachtet.

Tabelle 11: Gewichte der Sortierung am Standort C

Sortierung C.S	EKG, gesamt [kg]	EKG, ohne Batterie [kg]	EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage [kg]	EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage [kg]	EKG, Batterie fehlend, ohne Demontage [kg]	Batterie, lose [kg]
Sortierung 1	755,24	714,00	4,67	4,19	31,15	1,23
Sortierung 2	901,30	869,00	9,51	6,07	15,97	0,75
Gesamtgewicht	1.656,54	1.583,00	14,18	10,26	47,12	1,98

Tabelle 12: Gewichte vor und nach der Demontage am Standort C

Demontage C.S	Gesamtgewicht der Geräte mit Batterien [kg]	Gewicht der Batterien [kg]	Li-Batterien, gesamt [kg]
EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage	14,18	2,94	0,07
EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage	10,26	1,87	0,04
Batterien, lose	1,98	1,98	0,52
EKG, Batterie vorhanden, gesamt	26,42	6,79	0,11

Generell lag bei der Probe ein stark heterogenes Material vor. Zeitschaltuhren (vermutlich aus der Weihnachtszeit), Bügeleisen und Staubsauger waren in auffällig großer Anzahl vorhanden. Elektroaltgeräte mit einer äußeren Abmessung größer 500 mm, waren ebenfalls vorhanden. Aufgrund des 95- %- Perzentils der für die Berechnung der Stichprobengröße herangezogen wurde (vgl. ÖNORM S 2127), lag der Anteil an Geräten mit Abmessungen größer 500 mm unter 5 % der Gesamtmenge und hatte daher keinen Einfluss auf die entnommene Menge an Probe.

3.7 Ergebnisse und Diskussion

3.7.1 Anteil an Batterien

Zuerst werden die Ergebnisse der sechs qualifizierten Stichproben einer Analyse und Diskussion unterzogen, dabei wird näher auf den Anteil der Batterien und Li-Batterien im EKG-Strom eingegangen. Am Ende dieses Kapitels wird kurz auf die Ergebnisse der einzelnen Stichproben bei der Sortierung am Standort B und C eingegangen, um etwaige Schwankungen bei der Beprobung der Haufwerke näher zu betrachten.

Aus den Daten der Tabellen für die Sortierungen und Demontage von A1.S1 bis C wurden zwei zusammenfassende Tabellen erstellt, die in Tabelle 13 im Überblick dargestellt sind. Da am Standort A an den beiden Probetagen jeweils zwei zu beprobende Haufwerke vor Ort waren, konnten hier vier voneinander unabhängige Ergebnisse generiert werden. An den Standorten B und C hingegen war am Tag der Probenahme nur je ein zu beprobendes Haufwerk vorhanden, weswegen die Stichproben hier jeweils zu nur einer qualifizierten Stichprobe zusammengefasst werden können. Dasselbe gilt für die Werte in Tabelle 14, die sich aus den Ergebnissen der Demontage und der anschließenden Aussortierung der Li-Batterien ergeben haben. Aus den sechs unabhängig voneinander generierten qualifizierten Stichproben wurden die Massenanteile der im Detail betrachteten Fraktionen berechnet.

Tabelle 13: Gewichte der Sortierungen der qualifizierten Stichproben

Sortierung	EKG, gesamt [kg]	EKG, ohne Batterie [kg]	EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage [kg]	EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage [kg]	EKG, Batterie fehlend, ohne Demontage [kg]	Batterie, lose [kg]
A1.S1	984,00	901,03	35,66	16,13	30,11	1,51
A1.S2	1.003,00	943,74	9,37	20,72	26,30	2,87
B.S	1.750,00	1.539,55	27,20	10,79	25,53	3,29
A2.S1	571,50	509,49	4,54	22,28	32,87	2,32
A2.S2	963,93	929,62	10,99	13,44	47,44	1,51
C.S	1.656,54	1.583,00	14,18	10,26	47,12	1,98
Summe	6.928,97	6.406,43	101,94	93,62	209,37	13,48

Tabelle 14: Gewichte der gesamten Batterien und der aussortierten Li-Batterien der qualifizierten Stichproben

Demontage	Gewicht der Batterien [kg]	Gewicht der Li-Batterien [kg]
A1.S1	11,66	1,47
A1.S2	7,85	1,79
B.S	8,05	1,32
A2.S1	5,85	1,03
A2.S2	7,46	1,60
C.S	6,79	0,63
Summe	47,66	7,84

Tabelle 15: Anteil der Batterien und Li-Batterien in den Stichproben

qualifizierte Stichproben	Anteil Batterien in Stichprobe [%]	Anteil der Li-Batterien in Stichprobe [%]	Anteil Li-Batterien in Batteriefraktion [%]	Anteil Batterien, lose [%]
A1.S1	1,18	0,15	12,63	0,15
A1.S2	0,78	0,18	22,76	0,29
B.S	0,46	0,04	16,46	0,19
A2.S1	1,02	0,18	17,59	0,41
A2.S2	0,77	0,17	21,39	0,16
C.S2	0,41	0,04	9,29	0,12
Mittelwert	0,77	0,13	16,69	0,22
Standardabweichung	0,30	0,07	5,12	0,11

Für die Analyse der Menge der Batterien, sowie *Lithium* Batterien (Li-Batterien) im Elektrokleingerätstrom wurden insgesamt 6.929 kg an vier Probenahmetagen sortiert. Relevant im Hinblick auf Batterien jeglicher Art, waren von den 6.929 kg nur rund 474 kg.

Lediglich in dieser Masse an Elektrokleingeräten konnten, aufgrund der anfänglich festgelegten Fraktionen, Batterien vermutet und gefunden werden. Nach der Sortierung, Demontage und Auswertung, der sechs qualifizierten Stichproben, wurde ein Anteil an Batterien in der sortierten Masse von 0,77 M-% (s: $\pm 0,30$ M-%) festgestellt (vgl. Tabelle 15). Der Anteil der Li-Batterien in den sechs Stichproben betrug 0,13 M-% (s: $\pm 0,07$ M-%), jener in der Batteriefraktion belief sich auf 16,69 M-% (s: $\pm 5,12$ M-%).

Die Daten der Tabelle 15, wurden zur Generierung von Boxplot-Diagrammen herangezogen, die dafür berechneten Werte sind dem Anhang 3 zu entnehmen. Wie in Abbildung 11 ersichtlich liegen die Mittelwerte in den beiden betrachteten Fällen relativ nahe beim Median, dies sagt aus, dass die erhaltenen Daten für die Masse an gefundenen Batterien relativ konstant verteilt sind und keine Ausreißer auftreten. Die gleichmäßige Verteilung wird dadurch bestätigt, dass der Median nicht deutlich nach oben oder nach unten ausschlägt und die Whisker ebenfalls ähnlich lang sind. Aufgrund dessen kann angenommen werden, dass auch in größeren Fraktionen der Anteil der Batterien in der Elektrokleingeräte (EKG) Fraktion nahe beim erhaltenen Durchschnittswert von 0,77 M-% (s: $\pm 0,30$ M-%) liegt. Wird dieses Ergebnis auf die im Jahr 2015 angefallene getrennt gesammelte EKG-Masse von 30.537 t (EAK, 2016, S. 38) hochgerechnet, so ergibt sich eine Masse von 235 t (s: ± 92 t) Batterien im EKG-Strom in Österreich.

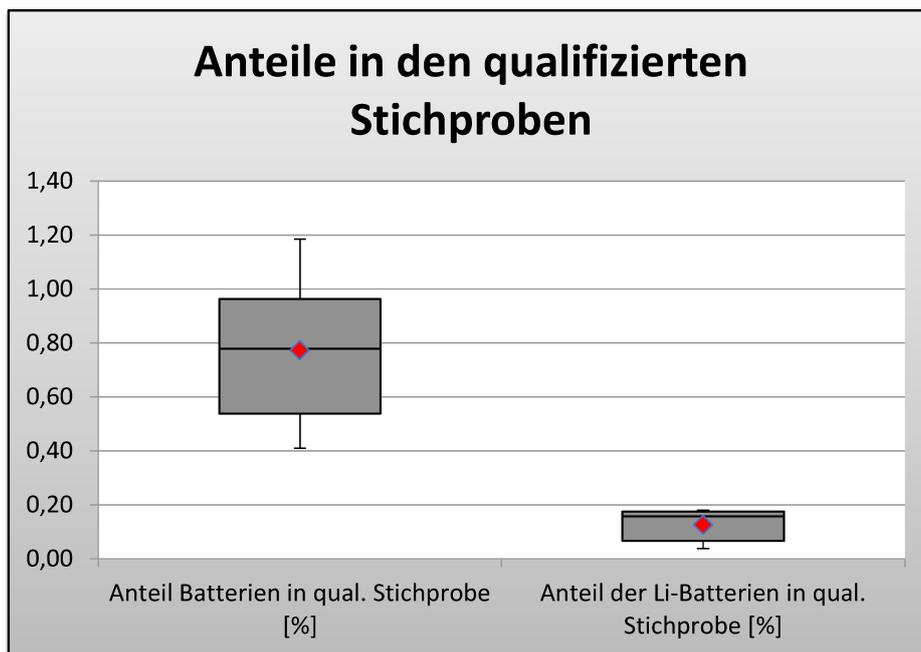


Abbildung 11: Anteil der Batterien und Li-Batterien in der qualifizierten Stichprobe

Beim Anteil der Li-Batterien in der qualifizierten Stichprobe fällt auf, dass der Boxplot sehr klein ist. Daraus kann geschlossen werden, dass die Anteile an Li-Batterien in den qualifizierten Stichproben sehr nahe beieinander lagen. Der Mittelwert weicht aber vom Median ab. Wie in Abbildung 11 zu erkennen ist liegt der 50 % Wert bei 0,16 M-%, dieser Unterschied kann auf die Sammlung zurückgeführt werden. In Tabelle 15 Spalte drei ist zu

sehen, dass die Werte für die Anteile der Li-Batterien in der qualifizierten Stichprobe von B und C nur 0,04 M-% beträgt und den Schluss zulässt, dass in den untersuchten gewerblichen Sammlungen weniger Geräte mit Li-Batterien vorhanden sind.

Eine andere Möglichkeit wäre, dass bei den Geräten aus der gewerblichen Sammlung bereits von den Endnutzern die Batterien entnommen wurden. Diese Theorie lässt sich auch durch den Anteil an Batterien in der qualifizierten Stichprobe bestätigen, denn wie in Abbildung 12 ersichtlich, ist der Anteil an Batterien der gewerblichen Sammlung ebenfalls geringer. Was darauf hinweist, dass die Entnahme der Batterien von den Endnutzern im gewerblichen Bereich besser funktioniert als in Haushalten und haushaltsähnlichen Einrichtungen. Die Elektrokleingeräte aus der Sammlung im ASZ (alle A-Sortierungen), weisen größere Massenanteile an Batterien auf. Im Mittel liegen die Anteile der Batterien in den Stichproben des Standortes A bei 0,94 M-%. Der Durchschnittswert für die gewerbliche Sammlung (B und C) liegt dabei nur bei 0,46 M-%. Der höhere Anteil an Batterien im ASZ-Bereich lässt darauf schließen, dass sie getrennte Sammlung von Batterien und EKG von Endnutzern bei Haushalten und haushaltsähnlichen Einrichtungen nicht immer eingehalten wird.

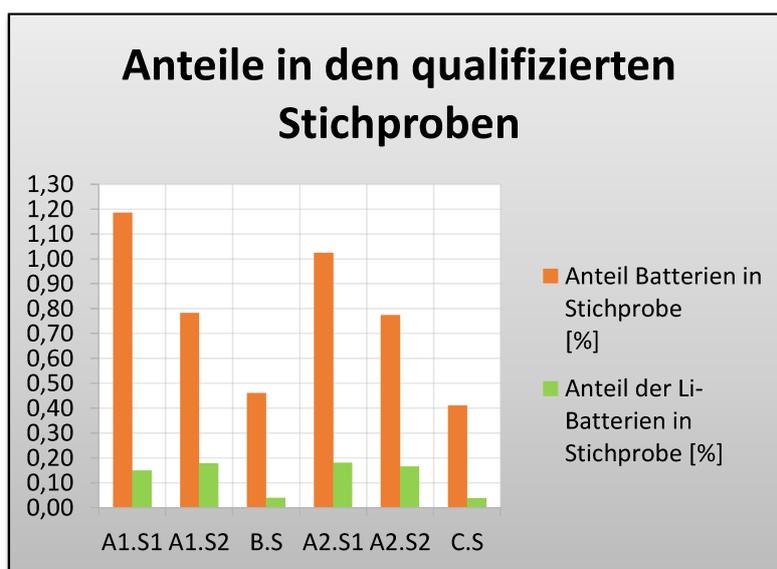


Abbildung 12: Anteile an Batterien bzw. Li-Batterien in den qualifizierten Stichproben

Hochgerechnet auf das Aufkommen an EKG in Österreich (Jahr 2015: 30.537 t) ergibt sich für den Anteil der Li-Batterien in den sechs Stichproben mit 0,13 M-% (s: $\pm 0,07$ M-%) eine Masse von 40 t (s: ± 21 t) Li-Batterien im EKG-Abfallstrom.

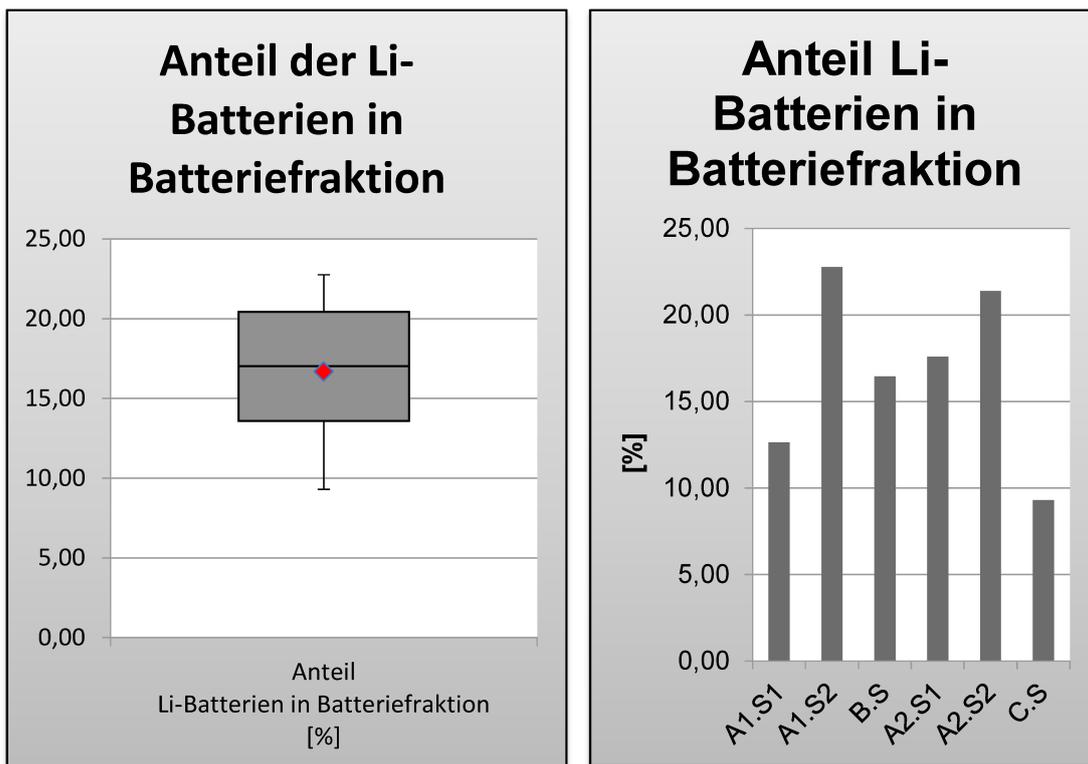


Abbildung 13: Boxplot-Diagramm (links) und Balkendiagramm (rechts) der Li-Batterieanteile in der Batteriefraktion

Im Zuge der Auswertung wurden auch die Anteile der Li-Batterien in der Batteriefraktion ermittelt. Wie im Boxplot-Diagramm (vgl. Abbildung 13) ersichtlich, schwanken die gewonnenen Ergebnisse zwischen 9 M-% und 23 M-% Massenanteil der Li-Batterien in der Batteriefraktion der qualitativen Stichproben.

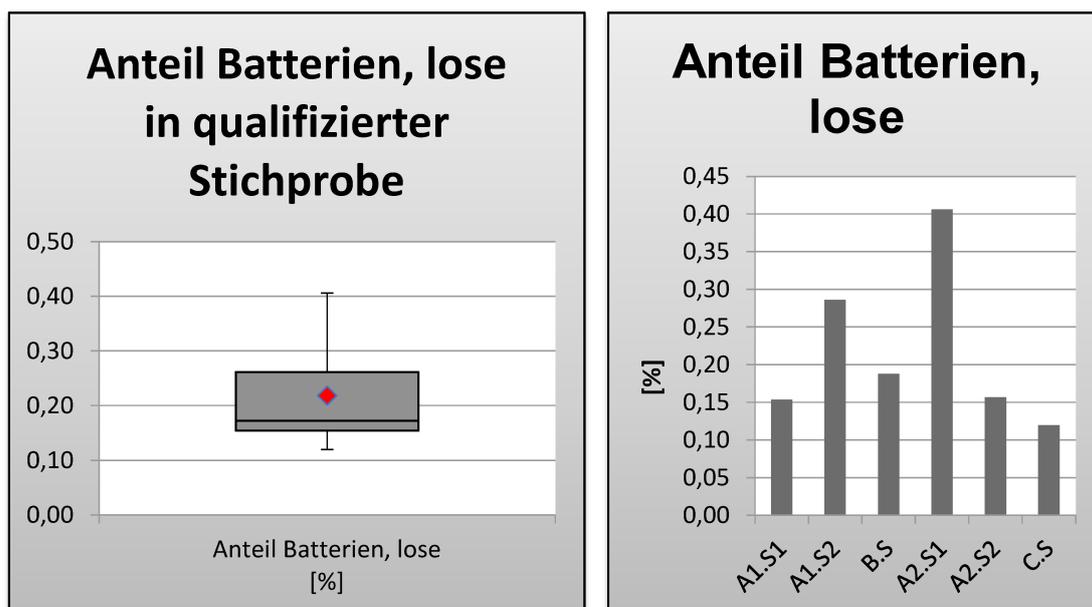


Abbildung 14: Anteile der losen Batterien in der qualifizierten Stichprobe Boxplot Diagramm (links) Balkendiagramm (rechts)

Ein weiterer wichtiger Punkt ist der Anteil an *Batterie, lose* der in den qualifizierten Stichproben aufgefunden wurde. Die Unterschiede im Aufkommen der Fraktion *Batterie, lose* kann auf einen hohen Zerstörungsgrad, Unterschiede bei der Wahl des Probenahmegeräts und eine schlechte Entnahme der Batterien seitens der Endnutzer hindeuten. Wie in Abbildung 14 zu erkennen ist, schwanken die Ergebnisse der *Batterien, lose*, die in den Proben vorgekommen sind zwischen 0,12 M-% und 0,41 M-%. Darüber hinaus ist im Boxplot-Diagramm zu erkennen, dass Mittelwert und Median voneinander abweichen, was bedeutet, dass die qualifizierten Stichproben ungleich verteilt sind. Diese Ausreißer liegen aber immer noch im Bereich der Whisker und führen damit nicht zu einer starken Veränderung der Werte.

Ein möglicher Grund für die Schwankung in der Fraktion der *Batterien, lose* könnte die Wahl des Probenahmegerätes gewesen sein. Bei Probe A1.S2 wurde die Probe mit einem Greifer genommen. Durch diese Art konnte eine bessere Beprobung unterschiedlicher Stellen im Haufwerk vorgenommen werden. Wegen des hohen Zerstörungsgrades dieser Probe wurde bei den nachfolgenden Probenahmen (B, A2.S1 und C) die Beprobung mit einem Radlader durchgeführt.

Bei einem hohen Zerstörungsgrad müsste auch der Anteil der *Batterien, lose* höher sein. Für den Vergleich werden die Werte in Abbildung 14 herangezogen. Zu erkennen ist, dass die Proben mit einem hohen Zerstörungsgrad, im Fall von A1.S2, zwar einen erhöhten Anteil an losen Batterien ausweisen, bei der Betrachtung von C.S, bei der ebenfalls einen erhöhten Zerstörungsgrad vorhanden war, stimmt diese Überlegung jedoch nicht. Da aber in der gewerblichen Sammlung weniger Batterien vorhanden waren kann hier kein Zusammenhang festgestellt werden. Bestätigt wird der Zusammenhang von Höhe des Zerstörungsgrades zu Anteil an *Batterien, lose* auch durch die Probenahme A2.S1, die einen Anteil von 0,41 M-% und damit den höchsten Wert für den Anteil an *Batterien, lose* aller Stichproben erreicht. Eine Erklärung dafür ist, dass das Haufwerk einen hohen Zerstörungsgrad aufwies und zusätzlich eine Entnahme mit dem Radlader erfolgte, wodurch auch der Bodenbereich des Haufwerks in der Probe enthalten war. Damit konnten auch Batterien, die sich infolge einer Entmischung im Bereich des Bodens ansammeln erfasst werden.

Um am Ende dieses Unterkapitels eine Aussage über Auffälligkeiten, Schwankungen und Auswirkungen der Probenahme der einzelnen Stichproben treffen zu können, werden die Haufwerke (B und C) in einer gesonderten Tabelle (vgl. Tabelle 16) behandelt. Bei der Beprobung der Standorte B und C lag jeweils nur ein zu beprobendes Haufwerk vor, weswegen an diesen Standorten die einzelnen Stichproben einer Demontage unterzogen wurden und nicht sowie bei der Gesamtbetrachtung die qualifizierten Stichproben. Durch die Demontage der Stichproben lässt sich ein besserer Zusammenhang zwischen der Art der Probenahme herstellen und eine Aussage treffen, ob in den Haufwerken ein gleichmäßiges Auftreten von Batterien und Li-Batterien vorkommt oder ob sich Bereiche mit hohen Anteilen an Batterien ergeben. Zur besseren Veranschaulichung sind die Werte in Tabelle 16 auch in einem Boxplot (vgl. Anhang 4) und einem Balkendiagramm dargestellt.

Tabelle 16: Auswertung der Stichproben von B und C

Stichproben aus B und C	Anteil Batterien in Stichprobe [%]	Anteil der Li-Batterien in Stichprobe [%]	Anteil Li-Batterien in Batteriefraktion [%]
B.S1	0,43	0,05	10,59
B.S2	0,63	0,14	21,76
B.S3	0,32	0,04	13,07
C.S1	0,29	0,07	25,46
C.S2	0,51	0,01	1,64
Mittelwert	0,44	0,04	14,51
Standardabweichung	0,14	0,02	9,43

Wie in den Ergebnissen der qualifizierten Stichproben, ergibt sich auch für die Auswertung der Anteile an Batterien in den Stichproben von B und C ein enger Bereich, der auf keine großen Schwankungen hinweist. Mittelwert und Median liegen erneut sehr eng beieinander, da keine Ausreißer bei den Stichproben vorgekommen sind (vgl. Abbildung 15). Dies lässt den Schluss zu, dass der Einfluss des Probenahmeegerätes auf das Ergebnis gering ist.

Für die Auswertung der Ergebnisse der Anteile der Li-Batterien in den Stichproben ergibt sich ein ganz anderes Ergebnis (vgl. Abbildung 15). Der Anteil der Li-Batterien ist zwar um eine Zehnerpotenz geringer als der gesamte Anteil der Batterien in den Stichproben, aber wie in Abbildung 15 ersichtlich deutlich heterogener verteilt. Somit liegen nur drei von fünf Werten innerhalb des Boxplots, dies sagt aus, dass wie bereits zuvor besprochen der Anteil an Li-Batterien in der gewerblichen Sammlung sehr gering ist und der Anteil der Li-Batterien im Haufwerk stark schwankt.

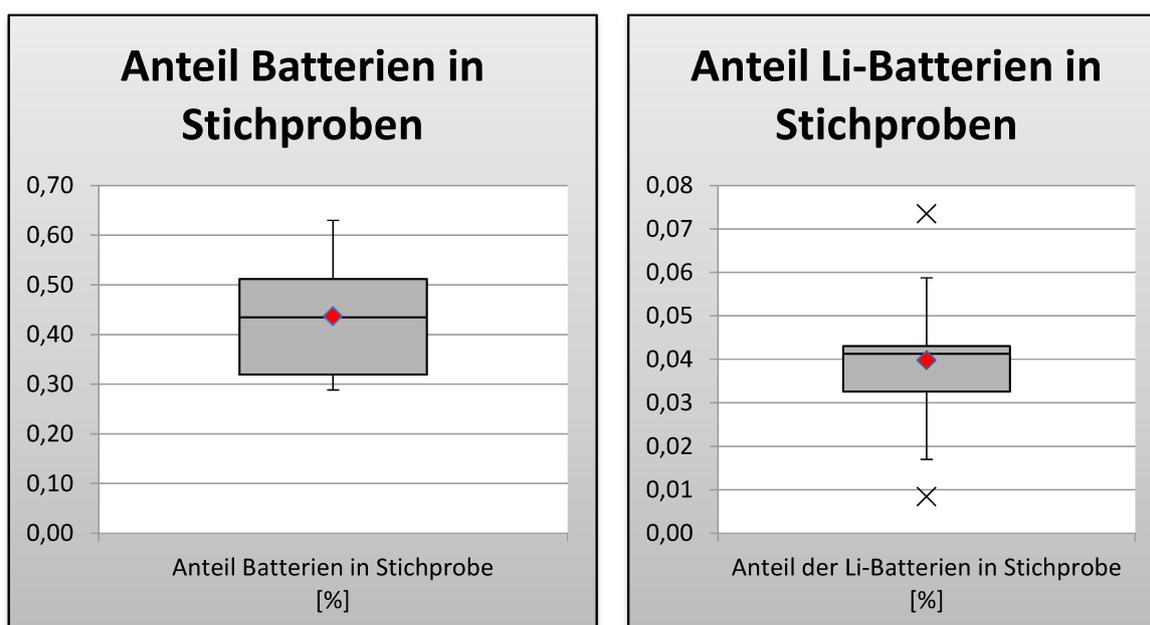


Abbildung 15: Anteil der Batterien (links) und Li-Batterien (rechts) in den Stichproben von B und C

Abschließend ist zu sagen, dass für eine genauere Analyse der Einflussfaktoren sowie eine Hochrechnung auf die Mengen an Batterien und Li-Batterien in der gesamt gesammelten EKG-Menge eine Erhöhung der Anzahl der qualitativen Stichproben anzuraten ist.

3.7.2 Auswertung des Demontageaufwandes

Bei der Demontage der Fraktion *EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage* wurden insgesamt 203 EKG demontiert, davon wurden die unter Kategorie 7 fallenden Fehlwürfe bereits abgezogen (vgl. Tabelle 17). Für welche Arten des Demontageaufwandes die Kategorien stehen wird in Kapitel 3.1.2 näher beschrieben. Bei 27 Geräten wurden die enthaltenen Batterien und Akkus bereits vor der Entsorgung entnommen. Somit war bei rund 13 % der aus allen Probenahmen vorhandenen *EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage* bereits eine ordnungsgemäße Entnahme durchgeführt worden. Interessant war dabei, dass von den 27 EKG, bei denen eine Entnahme durchgeführt wurde, 17 davon auf die Kategorie 1 *eine Schraube lösen* und nur 6 auf die Kategorie 2 *mehrere Schrauben lösen* entfielen. Somit wurde bei 62 % der Geräte der Kategorie 1 die Batterie entnommen. Bei den Geräten der Kategorie 1 handelte es sich zu einem großen Teil um Kinderspielzeuge, bei welchen aus Sicherheitsgründen für das Kind das Batteriefach mit einer Schraube zusätzlich fixiert ist. Jedoch waren die meisten Geräte jene der Kategorie 2, die 31 % der Fraktion *EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage* ausmachte.

Tabelle 17: Auswertung des Demontageaufwandes

Demontage der Sortierung	Ges. A1	Ges. B	Ges. A2	Ges. C	Gesamte Demontage	Batterie fehlend
Batterie fehlend	11	3	10	3	27	-
Kat. 1	14	8	15	12	49	17
Kat. 2	19	15	20	9	63	6
Kat. 3	7	8	6	8	29	3
Kat. 4	12	8	16	3	39	1
Kat. 5	3	0	2	3	8	0
Kat. 6	9	3	3	0	15	0
Kat. 7	7	4	3	4	18	-
Summe (ohne Fehlwürfe)	64	42	62	35	203	27
Kat. 1 – eine Schraube lösen Kat. 2 – mehrere Schrauben lösen Kat. 3 – öffnen mit oder ohne Schraube, über einen Mechanismus Kat. 4 – eine/mehrere Schrauben lösen, mit Aufbrechen bzw. leichter Gewaltanwendung				Kat. 5 – kompliziertere bzw. aufwändigere Demontage Kat. 6 – öffnen nur durch rohe Gewalt möglich Kat. 7 – Fehlwurf		

Da als einer der Hauptgründe für das erhöhte Aufkommen der Batterien im EKG-Strom der feste Einbau von Batterien bzw. Akkus ins Gerät ist, wurde diese Theorie auch in dieser Arbeit näher betrachtet. Dazu wurden die Kategorien 1 bis 4 als *leicht bzw. ohne großen Aufwand zu öffnen* festgelegt und es konnte anhand der Daten in Tabelle 17 berechnet werden, dass in rund 88 % der Fälle eine Entnahme ohne großen Aufwand durchgeführt

werden konnte. Damit wird deutlich, dass die großen Mengen an Batterien im EKG-Strom mit der „Erziehung“ der Bevölkerung zur getrennten Sammlung von Batterien zusammen hängen. Nur in 12 % der Fälle waren die Art und Weise wie die Batterien verbaut waren (geklebt, zu Tief eingebaut, etc.) für die nicht durchgeführte Entnahme und getrennte Sammlung verantwortlich.

3.7.3 Beschreibung der Batterien

Gesamtheitlich betrachtet waren die Batterien und Akkus noch in einem guten Zustand. Von allen gesammelten Batterien waren rund 15 Stück verrostet wie in Abbildung 16 dargestellt. Bei weniger als zehn Batterien konnte ein Austritt von Batteriesäure festgestellt werden (vgl. Abbildung 16 und Abbildung 17) und starke Deformationen an den Batterien traten generell nur bei den losen Batterien auf. Am Standort C wurden zwei Pouchzellen gefunden diese sind thermisch durchgegangen wie in Abbildung 17 ersichtlich ist.



Abbildung 16: Zustand der Batterien leichte Verrostungen (links) und Austritt von Batteriesäure (rechts)



Abbildung 17: Zustand der Batterien starke Deformation (links) und zerstörte Pouchzellen (rechts)

4 Elektrokleingeräte am Beispiel von Mobiltelefonen

4.1 Entwicklung der Produktgruppe Informations- und Kommunikationstechnikgeräte

Die Lebensdauer von Telekommunikationsgeräten wird von Martens und Goldmann (2016, S. 7) mit eineinhalb bis fünf Jahren eingeschätzt. Ein erheblicher Anteil von Informations- und Kommunikationstechnikgeräten (IKT-Geräte) wird allerdings schon vor Ablauf der Lebensdauer von den Benutzern entsorgt. Dieser Trend wird auch von Behrendt (2015) bestätigt, die durchschnittliche Nutzungsdauer sank von 12 auf 8 Jahre, Anfang der 1990er und liegt heute bei nur mehr ein bis zwei Jahren. Dies ist einerseits auf Modetrends, aber auch auf neue Softwaresysteme, die auf älteren Geräten nicht mehr funktionieren, sowie auf geplante Obsoleszenz zurückzuführen (Martens und Goldmann, 2016, S. 439). Eine geplante Obsoleszenz im technischen Bereich der Geräte ist gemäß der WEEE-RL nicht erlaubt. Denn im Hinblick auf die Produktkonzeption ist festgelegt, dass der Einbau von Bruchstellen ohne sinnvollen Vorteil z.B.: für den Umweltschutz und/oder die Sicherheit nicht erlaubt ist (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012).

Auch Behrendt (2015) stellt fest, dass durch das dynamische Marktwachstum und die Kurzlebigkeit vieler IKT-Geräte die Mengen an Elektro- und Elektronikgeräten deutlich ansteigt. Die verkürzte Nutzungsdauer und die dadurch erhöhten EAG-Mengen werden, durch die in Zukunft steigende Verwendung von IK-Technologien in Alltagsgeräten, sowie die Miniaturisierung und Vernetzung der IKT-Geräte, zusätzlich ansteigen. Die Verwendung von diesen Geräten in Alltagsprodukten erfolgt ein erhöhter Eintrag von „mikroelektronischen Wegwerfprodukten“ und darin enthaltenen Batterien in andere Abfallströme (Behrendt, 2015).

4.2 Definition von Ökodesigns

Unter Ökodesign wird die umweltgerechte Produktgestaltung verstanden. Laut ISO 14062 wird Ökodesign als „[...] *Integration von Umweltaspekten bei Produktdesign und -entwicklung* [...]“ beschrieben (Abele et al., 2008, pp. 1, 3). Somit soll mit Hilfe von Ökodesign ein Produkt von der Wiege bis zur Bahre betrachtet werden, um die Umweltauswirkungen für den gesamten Lebensweg zu minimieren (Meunier et al., 2016).

Der Gedanke des Ökodesign wurde durch die Problematik der „End-of-Pipe“-Lösungen der Umweltpolitik entwickelt. Deren erster Punkt betrifft die „saubere Produktion“ von Produkten, wobei Abfälle und Schadstoffe zu vermeiden sind. Dieser Ansatz wurde zum „sauberen Produkt“ weiterentwickelt. Dabei soll von der Rohstoffherstellung bis zur Entsorgung über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes die Umweltauswirkung verringert werden (TU Wien, 2017). Schlussendlich wurde der Begriff Ökodesign eingeführt, dessen Ziel laut TU Wien (2017) es ist „[...] *durch intelligenten Einsatz der verfügbaren Ressourcen einen möglichst großen Nutzen für alle beteiligten Akteure (entlang der Wertschöpfungskette) bei minimaler Umweltbelastung und unter sozial fairen Bedingungen zu erzielen*“. Für eine Ökodesignstrategie sind sowohl benötigte Rohstoffe, Produktionsprozess, Produkt und

Dienstleistungen, als auch Entsorgung und vieles mehr in die Umweltbetrachtung einbezogen (TU Wien, 2017).

Für eine Einschätzung der Auswirkungen eines Produktes auf die Umwelt sind die verwendeten Materialien, die benötigte Energie und die zur Verfügung stehenden Ressourcen von großer Bedeutung. Des Weiteren sind, wie auch schon in der Ökodesignrichtlinie beschrieben, die Entstehung von Emissionen auf Luft, Boden und Wasser, sowie die Verwertung und Beseitigung der Abfälle zur Einschätzung etwaiger Umweltauswirkungen zu betrachten (Abele et al., 2008, S. 23).

Für die Umsetzung einer Ökodesignstrategie im Unternehmen sind zuallererst die Unternehmensziele entsprechend anzupassen, wobei laut Abele et al. (2008, S. 41–42) Veränderungen für beschlossene Umweltziele auf die Produkte und deren Erzeugung umgelegt werden müssen. Damit wird deutlich das Ökodesign nicht einfach schnell mal eingeführt werden kann, es muss von Unternehmen in die Struktur implementiert werden, um seinen Sinn an der richtigen Stelle zu erfüllen. Die bereits in der Planungsphase berücksichtigten Ökodesignmaßnahmen haben folglich Auswirkungen auf Produktion, Transport, Nutzung, sowie *Reuse* und ein abschließendes Recycling.

4.3 Sammlung von Elektrokleingeräten

Der EAG-Strom ist einer der am schnellsten wachsenden Abfallströme weltweit. Er wird laut Martens und Goldmann (2016, S. 440) auf rund 40 Millionen Tonnen pro Jahr geschätzt und nur weniger als ein Sechstel davon werden einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt. In Österreich wurden im Jahr 2015 laut Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 rund 80.200 Tonnen an Elektro- und Elektronikaltgeräten gesammelt (BMLFUW, 2017a). Gerade bei Elektrokleingeräten ist die Sammlung und ein anschließendes Recycling durch die Größe und die damit verbundene falsche Lagerung und Entsorgung ein großes Problem. Deswegen ist der wichtigste Faktor, um eine hohe Sammelrate zu erzielen das Aufmerksam machen der Bevölkerung (Duygana und Meylan, 2015). Auch laut Sarath et al. (2015) kann ohne das richtige Konsumentenbewusstsein kein Recyclingsystem sein Maximum erreichen. Martens und Goldmann (2016, S. 441) und Geyer und Blass (2010) sind sich einig, dass das größte Problem der Sammler der „Hoarding Effekt“ darstellt, womit ein Ziel für Sammlung, *Reuse* und Recycling die Verringerung des Aufenthalts von EKG in Haushalten ist. „*Hoarding Effekt*“ bezeichnet das Horten von Werkstoffen in Schubladen und Schränken der Endnutzer (Geyer und Blass, 2010).

Die treibenden Kosten für ein „*end of use management*“ werden zu einem großen Teil durch die Rückhollogistik verursacht, weitere Kosten entfallen auf den Bereich der Wiederaufarbeitung, der sich aus der Instandsetzung und dem Recycling zusammensetzt (Geyer und Blass, 2010).

Generell kann die Rückhollogistik in drei Bereiche gegliedert werden. Erstens den Rückholanreiz für den Endnutzer, um möglichst viel zu sammeln, zweitens Sammlung und Transport und drittens Kontrolle und Sortierung. Sehr wichtig dabei ist ein schnelles

Rückholen bzw. Sammeln und kein Horten der Altgeräte in den Schubladen der Endnutzer, denn die Preise für *Reuse*-Mobiltelefone sinken schnell (Geyer und Blass, 2010).

Auf Grund dessen wird in manchen Ländern für die Abgabe der Mobiltelefone bei einer Rückholstelle Geld an den Endnutzer bezahlt. In Österreich wird die Sammlung von Mobiltelefonen einerseits bei Rückholstellen angeboten aber auch die Sammlung für den guten Zweck, durch die „Ö3-Wundertüte“ wird umgesetzt und ist im nachfolgenden Kapitel näher beschrieben.

Ö3-Wundertüte

Bei der „Ö3-Wundertüte“ werden seit 2005 jedes Jahr, alte und gebrauchte Mobiltelefone, um die Weihnachtszeit gesammelt. Damit konnten bereits rund 4,5 Millionen Mobiltelefone gesammelt werden und mit dem Erlös Familien in Not in Österreich unterstützt werden. Seit Jänner 2016 können Mobiltelefone ganzjährig durch die „Ö3-Wundertüte“ abgegeben werden. Jeder Haushalt in Österreich bekommt dabei einen Papierumschlag, die „Ö3-Wundertüte“, zugesendet. Diese wird mit den Mobiltelefonen befüllt und kann anschließend an jeder Poststelle in Österreich gratis abgegeben werden. Die gesammelten Wundertüten werden anschließend in ein eigens dafür eingerichtetes Altmobiltelefon-Verwertungszentrum der Caritas Wien - *magdas RECYCLING* - transportiert und dort einer Sortierung zugeführt. Sortiert wird dabei in die Fraktionen *Mobiltelefone zur Verwertung* und *funktionstüchtige Altmobiltelefone*. Die *schrottreifen Mobiltelefone* werden einem fachgerechten Recycling unterzogen und die anderen werden so aufbereitet, dass sie in Großkontingenten in Entwicklungsländer verkauft und dort weiter verwendet werden können. Für jedes gespendete Mobiltelefon werden 1,50 € an Spendengeld gewonnen. Diese setzen sich aus den Erlösen für ein *schrottreifes Mobiltelefon* mit 50 Cent und ein *funktionierendes Altmobiltelefon* mit rund drei Euro pro Stück am Weltmarkt zusammen (Ö3, 2016). In Tabelle 18 sind die Daten der durch die „Ö3-Wundertüte“ gesammelten Althandys der Jahre 2011 bis 2015 aufgelistet. Wie in Tabelle 18 des Weiteren ersichtlich ist können mehr als 50 % der Mobiltelefone einem *Reuse* zugeführt werden, dies spart sowohl Rohstoffe als auch große Mengen an EAG ein.

Tabelle 18: Menge der gesammelten Altmobiltelefone und Menge der *Reuse*-Altmobiltelefone (Lossmann-Iliev, 2016)

Jahr	Gesammelte Mobiltelefone	<i>Reuse</i> -Mobiltelefone [Stück]	<i>Reuse</i> -Mobiltelefone [%]
2011	420.000	260.704	62,1
2012	467.000	315.120	67,5
2013	457.000	305.110	66,8
2014	431.000	295.889	68,7
2015	434.000	273.180	62,9

4.4 Reuse von Elektrokleingeräten

Der Begriff „*Reuse*“ kommt aus dem Englischen und bedeutet Wiederverwendung. Das heißt Produkte bzw. Abfälle, die noch in gutem Zustand sind oder an denen nur kleine Reparaturen für einen Wiedergebrauch, mit der ursprünglichen Funktion, notwendig sind, können durch Überprüfung, Reparatur und Instandsetzung wiederverwendet werden. Bei EAG hat dies gemäß § 11 Absatz 3 EAG-VO durch einen ausgebildeten Mechatroniker zu erfolgen.

Laut Geyer und Blass (2010) hat die Wiederverwendung von Mobiltelefonen, unter den Elektroprodukten den größten Markt. Das Austauschintervall liegt bei rund ein bis zwei Jahren, wobei beim Hersteller häufig von einer zu erwartenden Lebensdauer von bis zu zehn Jahren ausgegangen wird. Gemäß der WEEE-RL und auch laut § 6 Absatz 6 der EAG-VO ist ein *Reuse* von EAG gesetzlich vorgeschrieben, in welchen Mengen bzw. Anteilen an der gesamt gesammelten EAG-Menge dies umgesetzt werden soll, ist nicht vermerkt. Damit gibt es für einen *Reuse* keine genauen Vorgaben wie dies bei Sammlung, Rückgewinnung und Recycling der Fall ist. *Reuse* und Recycling werden zwar durch den Umweltschutzgedanken getrieben, die stärksten Treiber dafür sind aber die Wirtschaft und die gesetzliche Situation (Geyer und Blass, 2010).

Doch *Reuse* hat auch seine negativen Seiten, denn die Hersteller rechnen mit gewissen Absätzen. Kauft jemand ein *Reuse*-Mobiltelefon, der ansonsten ein neues Mobiltelefon kaufen würde, fällt dies in die Kategorie „*displaced production*“. Das bedeutet, dass zwar ein neues Mobiltelefon für diesen Endnutzer am Markt vorhanden ist, durch seine Entscheidung sich ein *Reuse*-Mobiltelefon anzuschaffen, wird das neue Mobiltelefon jedoch nicht benötigt und es wurde umsonst produziert. Laut Geyer und Blass (2010) wird dadurch vermutlich mehr Schaden an der Umwelt erzeugt, was somit das Gegenteil der allgemeinen Meinung ist. Der Grund warum *Reuse* aber dennoch betrieben wird, ist einerseits der Erlös, der aus den *Reuse*-Produkten gewonnen wird, denn alleine durch Sammlung und Recycling von Althandys könnte kein Gewinn erzielt werden (Geyer und Blass, 2010). Andererseits trägt der *Reuse*-Ansatz zu einer Verringerung des Abfallvolumens bei und kann somit als sehr positiv gewertet werden (Sarath et al., 2015).

4.5 Demontage von Elektrokleingeräten

„*Kein Produkt wird primär zum Zweck des Recyclings geschaffen, sondern im Hinblick auf seine Nutzung.*“, schreiben Martens und Goldmann (2016, S. 533). Mit dieser Aussage haben sie genau das Problem definiert, mit welchem sich die Recyclingtechnik tagtäglich beschäftigen muss. Oberste Priorität haben meistens die Funktion und der Nutzen des Produktes und erst danach wird auf die umweltfreundliche Gestaltung und die gute Recyclingfähigkeit geachtet. Hiermit ist bestätigt, dass es das vorrangige Ziel eines Unternehmens ist, jenes Produkt auf den Markt zu bringen, das sich dort erstens durchsetzt und gleichzeitig am ökologisch günstigsten ist und nicht jenes, das bei gesamtökologischer Betrachtung am besten abschneidet (Martens und Goldmann, 2016, S. 533).

Die Recyclingfähigkeit hängt von folgenden Faktoren ab:

- demontagefähige Struktur,
- Zerlegbarkeit in einzelne Werkstoffgruppen,
- Vielfalt der Materialien,
- Recyclingfähigkeit von Werkstoffverbunden,
- Abwesenheit von gefährlichen Inhaltsstoffen (Martens und Goldmann, 2016, S. 534, 535).

Durch die Anbringung eines Transponders basierend auf *Radio Frequenz Identifikation* (RFID) an den Elektro- und Elektronikgeräten könnte bereits bei der Vorsortierung eine genaue Bestimmung der Elektrogeräte erfolgen. Die Transponder (RFID-Tags) könnten dabei wichtige Informationen zu nutzbaren Bauteilen, den verarbeiteten Werkstoffen, etwaigen Schadstoffen und eine Empfehlung zum optimalen Recycling enthalten. Diese RFID-Tags hätten nicht nur für den Gerätenutzer einige Vorteile, wie zum Beispiel Wartungsinformationen, die einfach über Internet abrufbar wären, sondern auch für den Hersteller. Dieser könnte sich dadurch nämlich über den Nachweis und Verbleib seines Produktes informieren und dem Behandler schnell und einfach Auskunft über das passende Recyclingverfahren geben. Nachteile dieser Technologie sind z.B.: Ersichtlichkeit der Ablesestelle, Schmutz, Bruch, Verformung oder die Einbringung von schädlichen Elementen durch die im Transponder benötigten Materialien wie Kupfer, Aluminium und Silizium, angeführt. Diese könnten in der Aufbereitungslinie von Aluminium, Stahl und Glas Verunreinigungen verursachen (Martens und Goldmann, 2016, S. 452).

Generell wird laut Martens und Goldmann (2016) beim Recycling zwischen einem Komponenten- und einem Materialrecycling unterschieden. Beim Komponentenrecycling kommt es vor allem auf die recyclingfreundliche Bauweise des Produktes an, hier sind die Produkthersteller gefragt. Für ein solches Recycling sollte eine modulare Bauweise, eine demontagegerechte Verbauung, räumliche Anordnung und eine gute Zugänglichkeit gegeben sein. Des Weiteren hat eine Demontage möglichst zerstörungsfrei mit Erhalt der Funktion und ohne Beschädigung des Bauteils zu erfolgen. Die Option der Regenerierung des Bauteils zur Wiederverwendung und damit zum *Reuse* sollte vorhanden sein. Dementsprechend ist die Verbindungstechnik, wie im folgenden Kapitel näher beschrieben, aus vielen lösbaren Verbindungen zusammzusetzen (Martens und Goldmann, 2016, S. 536). Damit handelt es sich eigentlich beim Komponentenrecycling um den *Reuse* von Bauteilen und Modulen in anderen oder gleichen Produkten und hat somit nichts mit dem zu tun, was gemäß § 2 Absatz 5 des AWG 2002 als Recycling bezeichnet wird. Die Bauteile beim Komponentenrecycling werden lediglich einer Reinigung, Reparatur oder Instandhaltung unterzogen und nicht aufbereitet wie dies bei einem Recycling der Fall ist.

Beim Materialrecycling steht die Zerlegung in die Werkstoffe oder entsprechende Materialgruppen im Vordergrund. Diese Recyclingart kann in zwei Verfahren getrennt werden. Einerseits der Aufschluss, bei dem durch Krafteinwirkung die Zerstörung der Verbindung erfolgt und andererseits die Teildemontage. Dabei werden die eingebauten

Werkstoffe in getrennt leichter verwertbare Komponenten und Werkstoffgruppen separiert. Somit wird unter einer Teildemontage die Trockenlegung, die Schadstoffentfrachtung (Ausbau der Batterie) und der Ausbau von speziellen Werkstoffmodulen (Bleiakku, Kunststoffbauteile, Kupferkabelbäume, Aluminium- und Magnesiumbauteile, etc.) verstanden. Diese Art des Recyclings kann im Vergleich zu Komponentenrecycling auch bei beschädigten EAG erfolgen, bringt bessere Erlöse und ein höheres Materialausbringen. Ein Nachteil sind jedoch die höheren Kosten, da eine Trennung manuell zu erfolgen hat, anders als bei einem Aufschluss (Martens und Goldmann, 2016, S. 537). Auch hier handelt es sich lediglich um eine Vorstufe des Recyclings, die eigentliche Aufbereitung findet erst nach der Demontage in die Werkstoffgruppen statt.

Um den Punkt Ökodesign zu berücksichtigen, sind für ein Materialrecycling bereits in der Produktgestaltungsphase folgende wichtige Punkte zu beachten:

- Hohe Demontagefreundlichkeit, damit die benötigte Demontagezeit so gering wie möglich wird.
- Einsatz von lösbaren Verbindungen, um die Werkstoffe bestmöglich voneinander zu trennen.
- Auswahl der Werkstoffe sollte so erfolgen, dass technisch die Möglichkeit eines Aufschlusses, der Stoffsortierung, der Homogenisierung und der Stoffreinigung gegeben ist.
- Die Materialien sollten gut recycelbar sein.
- Die unterschiedlichen Werkstoffe sollten gekennzeichnet werden, dies ist besonders bei Kunststoffen sehr wichtig.
- Gefährliche Stoffe bzw. Bauteile (z.B.: Akkus in Handys) sollten gut abtrennbar sein (Martens und Goldmann, 2016, S. 540, 541).

Somit kann durch die richtige Produktgestaltung sowie die Auswahl der richtigen Werkstoffe und Verbindungstechnik bereits ein erheblicher Beitrag für ein späteres Recycling geleistet werden (Martens und Goldmann, 2016, S. 541). In dieser Arbeit wird ein besonderes Augenmerk auf die Verbindungstechnik gelegt, welche im nächsten Kapitel näher beschrieben wird, da diese einen sehr großen Einfluss auf das Ökodesign des Produktes hat, bei gleichzeitig geringem Aufwand für die Hersteller/Entwickler.

Verbindungstechnik

Elektroaltgeräte bestehen aus sehr vielen verschiedenen Materialien und Werkstücken. Damit diese unterschiedlichen Bauteile zu einem Elektro- bzw. Elektronikgerät zusammengesetzt werden können, werden sie durch unterschiedliche Verbindungstechniken vereint. Generell kann dabei zwischen drei technologisch verschiedenen Verbindungstechniken unterschieden werden (Martens und Goldmann, 2016, S. 21, 30).

Formschlüssige Verbindungen... Dabei erfolgt die Verbindung der verschiedenen Elemente durch ein zusätzliches Verbindungsstück (Schraube, Stift, Niete, usw.). Unter formschlüssig (vgl. Abbildung 18) fallen auch Verbindungen, die ineinandergreifen wie Reißverschluss, Passfedern, Schnappverbindungen und andere (Rudifieria, 2006, S. 179).

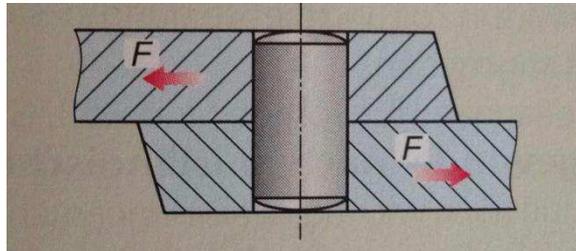


Abbildung 18: Formschlüssige Verbindung (Rudifieria, 2006, S. 179)

Kraftschlüssige Verbindungen... halten, wie der Name schon sagt, die Bauteile durch Kräfte zusammen. Die Übertragung der Kräfte auf die Elemente erfolgt mittels Reibungskräften (siehe Abbildung 19), die durch eingebrachte Kräfte oder Drehmomente ausgelöst werden. Schrauben-, Klemm- und Kegelverbindungen werden zu den kraftschlüssigen Verbindungen gezählt (Rudifieria, 2006, S. 179).

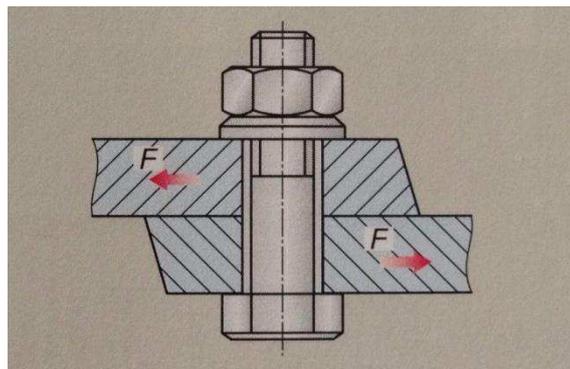


Abbildung 19: Kraftschlüssige Verbindung (Rudifieria, 2006, S. 179)

Stoffschlüssige Verbindungen... sind zum Beispiel Löt-, Klebeverbindungen oder Schweißnähte. Die Verbindung hält die Werkstoffe bzw. -stücke durch Adhäsions- und Kohäsionskräfte zusammen, siehe Abbildung 20 (Rudifieria, 2006, S. 179).

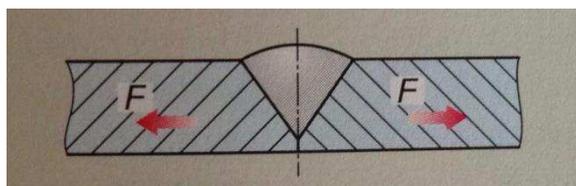


Abbildung 20: Stoffschlüssige Verbindung (Rudifieria, 2006, S. 179)

Werden die Verbindungen wieder gelöst, spricht man von einer Demontage. Dabei können die drei Fügeverfahren in zwei Gruppen unterteilt werden, jene die zerstörungsfrei lösbar sind, wie Schrauben, Stifte, Press- und Schnappverbindungen und jene, die nicht zerstörungsfrei lösbar sind, wie zum Beispiel Klebe-, Löt-, Schweiß- und Nietverbindungen (Martens und Goldmann, 2016, S. 30). Laut Martens und Goldmann (2016) sind lösbare Verbindungen für eine Demontage weit günstiger als nicht lösbare Verbindungen, denn diese können nur durch Zerstörung oder Erwärmung getrennt werden. Wie auch im praktischen Teil dieser Arbeit deutlich wird, ist ein Großteil des Demontagevorganges nur von Hand machbar. Welche Art der Fügung gewählt wird, hängt jedoch von den Produktplanern ab und dies ist wiederum von der Unternehmensstrategie der Hersteller im Hinblick auf Ökodesign abhängig (Martens und Goldmann, 2016, S. 414).

Als Maß für einen Vergleich zwischen der Demontierbarkeit und der gewonnenen reinen Werkstoffe, für die Demontage der Mobiltelefone im praktischen Teil, dient der Aufschlussgrad. Dieser gibt an wie gut oder schlecht ein Produkt in seine Werkstoffe zerlegt werden kann. Ein guter Aufschluss ist dann gegeben, wenn beim Ergebnis der Formel 100 % herauskommt. Dabei handelt es sich natürlich um den Idealfall, der sich nur bei Produkten mit reinen kraftschlüssigen Verbindungen ergibt. Da in der Verbindungstechnik von Mobiltelefonen auch stoffschlüssige Verbindungen keine Seltenheit sind, kann ein Aufschlussgrad von 100 % mit der derzeitigen Bauweise gar nicht erreicht werden (Martens und Goldmann, 2016, S. 22, 31).

$$\text{Aufschlussgrad [\%]} = \frac{\text{Werkstoffmasse voll aufgeschlossen [g]}}{\text{Gesamtwerkstoffmasse [g]}} \cdot 100 \text{ [\%]} \quad (10)$$

4.6 Beispiel nachhaltiges Mobiltelefon: das Fairphone

Das Fairphone (FP) wird als das weltweit erste ethisch korrekte Smartphone mit einer modularen Bauweise beworben. Ziel des Labels ist, dass die Lebensdauer des Fairphone durch austauschbare Module, günstige Ersatzteile und einfache Reparatur so lange wie möglich hinausgezögert wird (Fairphone, 2016). Das Unternehmen eröffnet mit seiner Transparenz in den Bereichen Arbeitsbedingungen und verwendete Materialien einen neuen Markt, bei dem das Hauptaugenmerk auf Verantwortung und Nachhaltigkeit liegt und nicht auf Preis und Leistung. Damit soll ein neuer Anreiz für altbewährte Hersteller geschaffen werden, sich ebenfalls mit verwendeten Materialien, Robustheit, Langlebigkeit, Reparaturfähigkeit, Arbeitsbedingungen, etc. zu beschäftigen. Das Unternehmen geht offen damit um, dass das FP noch lange nicht die Lösung ist, aber zumindest ein Schritt in die richtige Richtung. Mit dem Preis des „Fairphone First Edition“ (FP1) von 320 Euro, wäre auch ein anderes im Hinblick auf Funktion besseres Mobiltelefon erschwinglich. Im Kaufpreis enthalten sind jedoch 9,43 Euro, die besseren Arbeitsbedingungen zugutekommen, sowie 5,00 Euro für das Recycling, womit zusätzlich zum neuen Mobiltelefon auch ein gutes Gefühl, etwas für Umwelt und Nachhaltigkeit getan zu haben, mit verkauft wird (Pauly, 2014).

Mittlerweile gibt es bereits ein Nachfolgemodell zum FP1, das FP2. Das FP2 ist modular aufgebaut, durch einfache Handgriffe können die wichtigsten Verschleißteile, wie der Bildschirm und drei weitere Module ausgebaut und im Fall eines Defektes ersetzt werden. Der Preis des FP2 liegt bei 530 Euro und ist damit bereits in einem sehr hohen Preissegment angesiedelt. Zum Vergleich, das Samsung Galaxy S6 Edge ist ebenfalls um diesen Preis erhältlich und hat in technischer Hinsicht einiges mehr zu bieten (Vetterl, 2015).

Anhand von Abbildung 21 ist ersichtlich, dass im Gegensatz zum FP1 Schiebverbindungen für die unterschiedlichen Module verwendet wurden. Durch die Erneuerung der Verbindungstechnik der Module kann vermutlich eine bessere, zerstörungsfreie Ausbaubarkeit erreicht werden, als dies beim Vorgänger der Fall war. Die Demontage und Bewertung des FP1 sind in Kapitel 5.1.5 näher beschrieben.



Abbildung 21: Demontiertes FP2 (Vetterl, 2015)

In Abbildung 21 ist des Weiteren ersichtlich, dass das Fairphone auf ein Komponentenrecycling abzielt und nicht auf ein Materialrecycling. Durch die Demontage des FP1 und das daraus resultierende Ergebnis des Aufschlussgrades wird dies zusätzlich bestätigt.

4.7 Beispiel für ein modulares Konzept: das Projekt ARA

Doch nicht nur Fairphone setzt auf eine modulare Bauweise, auch Google entwickelt im Projekt Ara ein modulares Mobiltelefon (vgl. Abbildung 22). Das Konzept des Ara Mobiltelefons ist, dass die verschiedenen Module verschiedene Funktionen erfüllen sollen. Dadurch soll der Nutzer sein Mobiltelefon so zusammenstellen können, dass es seinen speziellen Wünschen entspricht. Bei den Modulen reicht die Bandbreite von Kameramodulen mit unterschiedlicher Pixelanzahl bis hin zu Modulen in denen Tabletten aufbewahrt werden können. Es gibt aber auch Module, die einen reinen Designzweck erfüllen. Bei Versuchen, die im Zuge von Testzwecken gemacht wurden, kam heraus, dass jeder Proband sein Ara Mobiltelefon anders zusammenstellte und kein einziges Mal zwei identische Mobiltelefone gebaut wurden. Laut Herrmann (2016) soll das Mobiltelefon in drei Größen herauskommen und nicht dicker als zehn Millimeter sein. Dabei variieren die Größen zwischen jener des Nokia 3310 und des Nexus 6P. Ziel des Ara Mobiltelefons ist es, die Lebensdauer zu erhöhen und dadurch die Mengen an Elektro- und Elektronikabfall zu verringern. Durch die individuelle Gestaltung und die einfache Ausbaubarkeit der Module sollen die Ara Mobiltelefone länger von den Konsumenten benutzt werden können. Wie und wann dieses

Mobiltelefon auf den Markt kommt ist jedoch noch nicht klar, (Pierce, 2016). Laut Prenner (2016) hat der Hersteller einen Marktstart für 2017 angekündigt. Der Preis für das Grundgerüst des Ara soll zwischen 15 Euro und 50 Euro liegen (Herrmann, 2016).



Abbildung 22: Ara Mobiltelefon mit einzelnen Modulen (Herrmann, 2016)

5 Demontage von Mobiltelefonen

Um das Ökodesign der Mobiltelefone im Bereich der Verbindungstechnik und der damit zusammenhängenden Demontage zu verbessern, wurde im Zuge dieser Arbeit eine Demontage von Mobiltelefonen durchgeführt. Die Auswahl der Modelle erfolgte willkürlich. Die Anzahl der zu Demontagezwecken ins Labor mitgenommenen Modelle, erfolgte aber unter Berücksichtigung der Marktanteile der verschiedenen Hersteller in den Jahren 2011 bis 2016. In Tabelle 19 sind die Anzahl der Modelle für die jeweiligen Marken abgebildet. Bei der Auswahl der Modelle war eine Bedingung die Markteinführung im Zeitraum von 2002 bis 2016. In Kooperation mit *magdas* RECYCLING konnten 52 verschiedene Modelle für eine Demontage zur Verfügung gestellt werden. In Anhang 5 sind die Modelle für die Demontage (D.1) und zusätzliche Daten wie Gewicht, Jahr der Markteinführung und Akkudaten aufgelistet. Des Weiteren wurden Mobiltelefone, die im Zuge der Sortierung der Elektrokleingeräte (vgl. Kapitel 3) angefallen sind, für eine anschließende Demontage (D.2) im Labor mitgenommen. Dabei handelte es sich um 13 Modelle, welche in Anhang 6 aufgelistet sind. Insgesamt wurden 18 zusätzliche Mobiltelefone gefunden. Einige davon waren doppelt vorhanden und andere Modelle wurden bereits in der Demontage 1 bearbeitet, weswegen diese Modelle mit einem D für Demontage gekennzeichnet sind. In D.2 wurden diese Mobiltelefone nicht erneut demontiert, der Vollständigkeit halber wurden sie jedoch mit in die Liste mitaufgenommen.

Tabelle 19: Richtwerte in Anlehnung an Marktanteile für die Auswahl der Modelle

Geschätzter Marktanteil	Anzahl Geräte	Bandbreite (von - bis)		Tatsächliche Geräteanzahl
40 % Samsung	20	18	20	9
30 % Apple	15	5	5	4
5 % Sony	2,5	2	3	5
5 % LG	2,5	2	3	4
5 % Huawei	2,5	2	3	2
5 % HTC	2,5	2	3	6
10 % Andere (Nokia, Emporia, Fairphone, Blackberry, etc)	5	12	15	22
Summe	50	43	52	52

Die Demontage der Handys erfolgte an vier Arbeitstagen. Je nach Typ bzw. Alter war die Demontage entweder nach Instinkt oder mit Hilfe einer Internetanleitung durchzuführen. Bei sehr neuen Modellen (ab 2013) musste für eine einigermaßen zerstörungsfreie Demontage eine Internetanleitung befolgt werden. Insgesamt wurden an den vier Tagen 65 Modelle demontiert.

5.1 Vorgehensweise

Wie bereits erwähnt erfolgte, für eine bessere Übersicht zuerst die Aufnahme der Mobiltelefone in ein Register (vgl. Anhang 5 und 6). Dabei wurden die Handys nach Hersteller und Jahr sortiert, ihr Gewicht durch eine Literaturrecherche ermittelt und alle Modelle vor der Demontage fotografiert.

Für die Dokumentation des Demontagevorganges der unterschiedlichen Modelle wurde währenddessen ein Demontageprotokoll (vgl. Anhang 7) erstellt. Darin waren die Gewichte der unterschiedlichen Fraktionen (*Akku*, *Kunststoff*, *Metall* und *Rest* = Verbundmaterial und EAG) nach der Demontage zu notieren. Die Wiegung erfolgte dabei auf einer Waage mit einer Genauigkeit von 0,1 g. Zusätzlich war beim Akku zwischen Lithium-Ionen-Batterie und Lithium-Polymer-Batterie zu unterscheiden und der jeweilige *Akkutyp* ins Protokoll einzutragen. Des Weiteren wurden die Demontagezeiten für die Entfernung des Akkus und die benötigte Zeit für die Zerlegung des Mobiltelefons mitgestoppt und ebenfalls eingetragen. Um möglichst reale Demontagezeiten zu erhalten, wurden die Modelle, die doppelt vorhanden waren zweimal demontiert, wobei erst beim zweiten Mal die Zeit mitgestoppt wurde. Abschließend war eine Bewertung über die Demontagefreundlichkeit des Modelles abzugeben. Da es sich dabei um eine sehr subjektive Beurteilung handelt, wurde im Voraus festgelegt, dass ein

- +... für eine gute bzw. einfache Demontierbarkeit steht, bei der die Demontage instinktiv erfolgte.
- ~... dafür steht, dass die Demontage mit ein wenig Nachdenken und Ausprobieren lösbar war.
- ... für eine sehr schlechte und komplizierte Demontage steht, wobei auf einen erhöhten Kräfteinsatz bei der Zerlegung nicht verzichtet werden konnte oder die Demontage nicht zerstörungsfrei vonstattenging.

Die Einzelteile der demontierten Mobiltelefone wurden danach auf einem Blatt Papier festgeklebt und für die Dokumentation in einen Ordner geschichtet.

Für einen besseren Vergleich der Modelle werden die Aufschlussgrade für die beschriebenen Modelle laut Formel 10 berechnet und verglichen. Für die Berechnung der Aufschlussgrade werden in dieser Arbeit die *Metallfraktion* und die *Kunststofffraktion* betrachtet. Da durch nachfolgende Aufbereitungsschritte, welche in dieser Arbeit nicht näher behandelt werden, kleine Metallteile an den größeren Kunststoffwerkstoffen, sowie Kunststoffteile an Metallwerkstoffen im Mobiltelefon gut abgetrennt werden können, wurden bei der Trennung der beiden Fraktionen die sehr kleinen Metall- bzw. Kunststoffverunreinigungen am jeweils anderen Werkstoff nicht weiter relevant. Zu erwähnen ist weiter, dass bei den beiden Fraktionen keine weitere Unterteilung in die verschiedenen Metalle bzw. Kunststoffe vorgenommen wurde.

Um zu verdeutlichen, welche Unterschiede sich beim Vergleich der Verbindungstechnik und der verbauten Materialien, bei den verschiedenen Modellen ergeben haben, sind nachfolgend mehrere Beispiele beschrieben.

5.1.1 Nokia 6020

Als Beispiel für die Demontage eines Mobiltelefons, das vor der Ära der Smartphones auf den Markt kam, wird in diesem Kapitel die Demontage des Nokia 6020 (vgl. Abbildung 23) beschrieben.



Abbildung 23: Demontiertes Nokia 6020

Um die Lithium-Ionen-Batterie des Nokia 6020 zu entfernen, musste zuerst das Backcover durch einen Schiebemechanismus entfernt werden. Anschließend konnte der Akku entnommen werden. Wie bei den älteren Nokia Modellen üblich, war als nächstes das Frontcover zu entfernen und durch das Lösen von sechs Schrauben konnte danach die Hauptplatine entnommen werden. Bei der Entnahme fiel gleichzeitig die Kunststoffastatur heraus. Danach konnte das Display abgenommen und zerlegt werden. In Tabelle 20 sind die Daten für die Demontage des Nokia 6020 aufgelistet.

Tabelle 20: Daten Nokia 6020

Hersteller	Modell	Jahr	Akku [mAh]	Gewicht [g]	Bewertung	Batterietyp
Nokia	6020	2004	760	90	+	LiB
	Akku [g]	Metall [g]	Kunststoff [g]	Rest [g]	t_{Akku} [s]	t_{Gesamt} [s]
	18,3	4,5	22,9	43,6	33	246

$$\text{Aufschlussgrad 6020 Metall [\%]} = \frac{4,5 \text{ [g]}}{90 \text{ [g]}} \cdot 100 \text{ [\%]} = 5,0 \text{ [\%]} \quad (11)$$

$$\text{Aufschlussgrad 6020 Kunststoff [\%]} = \frac{22,9 \text{ [g]}}{90 \text{ [g]}} \cdot 100 \text{ [\%]} = 25,4 \text{ [\%]} \quad (12)$$

$$\text{Gesamt Aufschlussgrad 6020 [\%]} = 5 \text{ [\%]} + 25,4 \text{ [\%]} = 30,4 \text{ [\%]} \quad (13)$$

Für das Nokia 6020 konnte ein Aufschlussgrad von 30,4 M.-% berechnet werden (vgl. Formel 11, 12 und 13).

5.1.2 Archos – 59 Titanium

Bei diesem Modell handelt es sich um eine französische Marke, die einem chinesischen Massenprodukt ihr Label aufgedruckt hat. Das Mobiltelefon läuft mit dem Betriebssystem von Google und einigen Archos-Apps (Wedekind, 2013). Im Labor wurde ein „Archos - 59 Titanium“ Handy demontiert. Nachstehend wird der Demontagevorgang beschrieben, die Einzelteile sind in Abbildung 24 ersichtlich.

Um den Akku aus dem Mobiltelefon zu entfernen, wurde die Abdeckung bei einer Einkerbung, im unteren Bereich des Mobiltelefons, mit einem Spatel aufgehebelt. Anschließend konnte der Lithium-Polymer-Akku entnommen werden. Für eine weitere Zerlegung wurden sechs Schrauben gelöst und auf der Seite erneut mit einem Spatel aufgehebelt. Im Anschluss daran waren die Klebestreifen über den fünf Steckverbindungen am Motherboard zu lösen und die Stecker heraus zu ziehen. Um die Platine zu entfernen, mussten insgesamt vier weitere Schrauben gelöst werden. Anschließend konnten die restlichen Verbindungen abgerissen werden. Hinterher waren die Schnappverbindungen der Metallplatte, welche die Bildschirmteile zusammenhalten zu lösen und abzuheben. Die Einzelteile konnten danach einfach entnommen werden bevor am Ende mit dem Spatel die Steckverbindung von Metall und EAG zu lösen war.



Abbildung 24: Einzelteile des Archos 59 Titanium

Mit den in Tabelle 21 angeführten Daten wird nun der Aufschlussgrad berechnet (vgl. Formel 14, 15 und 16). Dabei werden die Fraktionen *Metall* und *Kunststoff* als die Wertstofffraktionen betrachtet und damit wird ein Aufschlussgrad von 54,3 M.-% berechnet.

$$\text{Aufschlussgrad Archos Metall [\%]} = \frac{53,8 \text{ [g]}}{234 \text{ [g]}} \cdot 100 \text{ [\%]} = 23,0 \text{ [\%]} \quad (14)$$

$$\text{Aufschlussgrad Archos Kunststoff [\%]} = \frac{73,3 \text{ [g]}}{234 \text{ [g]}} \cdot 100 \text{ [\%]} = 31,3 \text{ [\%]} \quad (15)$$

$$\text{Gesamt Aufschlussgrad Archos [\%]} = 23,0 \text{ [\%]} + 31,3 \text{ [\%]} = 54,3 \text{ [\%]} \quad (16)$$

Tabelle 21: Daten für Archos 59 Titanium

Hersteller	Modell	Jahr	Akku [mAh]	Gewicht [g]	Bewertung	Batterietyp
Archos	59 Titanium	2014	2.600	130 (Literatur) 234 (real)	++	LiPo
	Akku [g]	Metall [g]	Kunststoff [g]	Rest [g]	t _{Akku} [s]	t _{Gesamt} [s]
	59,0	53,8	73,3	48,1	14	203

5.1.3 Apple - iPhone 3GS

Beim Apple – iPhone 3GS mussten zuerst zwei Schrauben entfernt werden, um anschließend mit einem Saugknopf das Display abheben zu können. Im Inneren des 3GS waren die Schritte, die für eine Demontage des Mobiltelefons nötig waren mit roten Punkten und einer Zahlenreihenfolge gekennzeichnet (vgl. Abbildung 25).

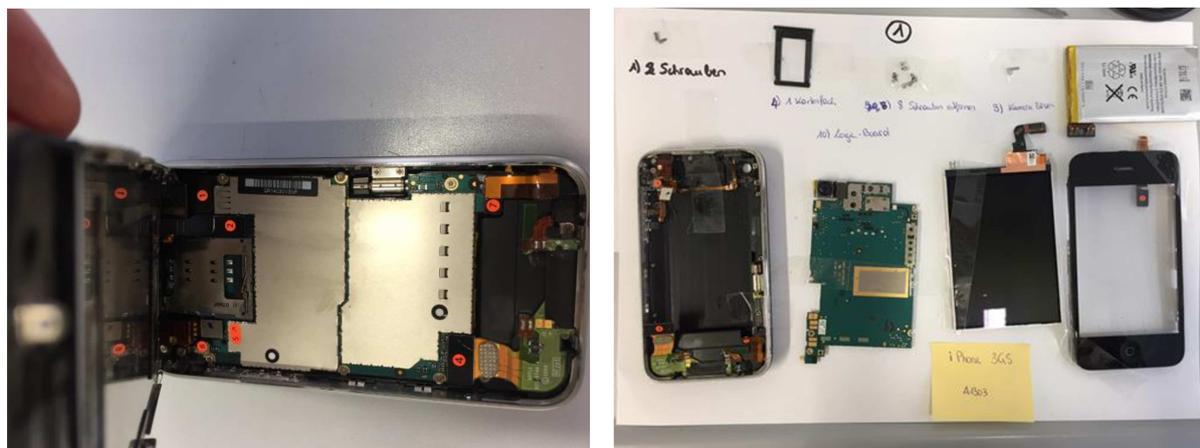


Abbildung 25: Inneres des iPhone 3 GS mit Kennzeichnung (links) und Einzelteile (rechts)

Somit konnte bei der Demontage nach der Zahlenreihenfolge vorgegangen werden. Zuerst waren die Schritte 1 und 2 zu befolgen, wobei die beiden Steckverbindungen gelöst werden mussten. Danach war mit Hilfe einer Büroklammer das SIM-Kartenfach zu entfernen. In Schritt 4 – 7 werden anschließend alle Steckverbindungen zur Festplatte gelöst. Hiernach sind acht Schrauben, die farblich gekennzeichnet sind, aufzuschrauben. Nach diesen Schritten konnte die Kamera sowie die Festplatte entnommen werden. Die Rückseite des

Mobiltelefons war anschließend mit einem Fön zu erhitzen, um die Klebeverbindung mit der der Akku im 3GS verbaut ist, zu lösen. Danach wurde der Akku mit dem Spatel aus dem Gehäuse zu gehobelt, wobei der Akku leicht verbogen wurde. Um am Ende den Bildschirm zu zerlegen, waren sechs weitere Schrauben zu entfernen. Tabelle 22 enthält die Ergebnisse der abschließenden Wiegung und in Abbildung 25 sind die Einzelteile des iPhone 3GS dargestellt.

Tabelle 22: Daten für Apple iPhone 3 GS

Hersteller	Modell	Jahr	Akku [mAh]	Gewicht [g]	Bewertung	Batterietyp
Apple	iPhone 3 GS	2009	1.220	135	+	LiPo
	Akku [g]	Metall [g]	Kunststoff [g]	Rest [g]	t_{Akku} [s]	t_{Gesamt} [s]
	24,7	0,3	0,3	109,5	282	420

Für einen Vergleich wurde auch bei diesem Modell der Aufschlussgrad berechnet (vgl. Formel 17, 18 und 19). Allerdings ist schon mit den ersten Blick auf Tabelle 22 erkennbar, dass das Ergebnis nicht sehr gut ausfällt.

$$\text{Aufschlussgrad iPhone 3 GS Metall [\%]} = \frac{0,3 \text{ [g]}}{135 \text{ [g]}} \cdot 100 \text{ [\%]} = 0,2 \text{ [\%]} \quad (17)$$

$$\text{Aufschlussgrad iPhone 3 GS Kunststoff [\%]} = \frac{0,3 \text{ [g]}}{135 \text{ [g]}} \cdot 100 \text{ [\%]} = 0,2 \text{ [\%]} \quad (18)$$

$$\text{Gesamt Aufschlussgrad iPhone 3 GS [\%]} = 0,2 \text{ [\%]} + 0,2 \text{ [\%]} = 0,4 \text{ [\%]} \quad (19)$$

Das iPhone 3GS war zwar durch die Beschriftung leicht zu zerlegen und wurde somit nach der Demontage mit einem Plus bewertet. Da aber rund 80 M.-% des Mobiltelefons nicht in Werkstofffraktionen aufgeteilt werden konnte, war der Aufschlussgrad von 0,4 M.-% sehr gering.

5.1.4 Apple - iPhone 5

Um die Veränderung des Aufschlussgrades für einen Hersteller vom Jahr 2009 zum Jahr 2012 darstellen zu können, wird zusätzlich die Demontage des iPhone 5 beschrieben und im Anschluss der Aufschlussgrad berechnet.

Wie beim iPhone 3GS, waren zuerst zwei Schrauben zu entfernen und der Bildschirm mit Hilfe eines Saugknopfs und Spatels abzuheben. Waren die nachfolgenden Schritte im iPhone 3GS gekennzeichnet, sind sie es nun nicht mehr. Deswegen wurde mit einer Internetanleitung weitergearbeitet. Um den Akku zu entfernen, musste eine Schraube gelöst und anschließend vorsichtig an einer Lasche gezogen werden, um die Klebeverbindung

unter dem Akku zu lösen. Anschließend wurden alle sichtbaren Schrauben gelöst (14 Stück) und die dadurch verbundenen Teile entfernt. Hiernach war das SIM-Kartenfach zu öffnen und heraus zu nehmen. Als Nächstes wurde eine weitere Schraube gelöst und das zugehörige Einzelteil entfernt. Um die Platine entfernen zu können, mussten drei weitere Schrauben gelöst werden und anschließend waren die Steckverbindungen auf der Platine abzutrennen. Dadurch wurden Platine und Gehäuse voneinander getrennt. Für einen guten Aufschluss sollte auch noch der Bildschirm in seine Einzelteile zerlegt werden. Dies konnte aber nicht zerstörungsfrei durchgeführt werden, da der Bildschirm zu splintern begann. Deswegen wurde von einer tieferen Demontage abgesehen. Die abschließende Wiegung ergab einen Rest von 47,7 g, das sind ca. 42 M.-% des Gesamtgewichts des Mobiltelefons (vgl. Tabelle 23 und Abbildung 26).

Tabelle 23: Daten für Apple iPhone 5

Hersteller	Modell	Jahr	Akku [mAh]	Gewicht [g]	Bewertung	Batterietyp
Apple	iPhone 5	2012	1.440	112	~	LiPo
	Akku [g]	Metall [g]	Kunststoff [g]	Rest [g]	t _{Akku} [s]	t _{Gesamt} [s]
	24,2	40,7	0,0	47,7	213	580

$$\text{Aufschlussgrad iPhone 5 Metall [\%]} = \frac{40,7 \text{ [g]}}{112 \text{ [g]}} \cdot 100 \text{ [\%]} = 36,3 \text{ [\%]} \quad (20)$$

Da im iPhone 5 bis zur vorgenommenen Demontagetiefe keine Kunststoffteile verarbeitet wurden, setzt sich der gesamt Aufschlussgrad lediglich aus der Metallfraktion zusammen siehe Formel 20.



Abbildung 26: Demontierte Einzelteile des iPhone 5

Beim Vergleich der Abbildung 25 mit der Abbildung 26 wird bereits der Unterschied im Aufschlussgrad sichtbar. Denn trotz der einfacheren Anleitung und Demontierbarkeit hat das iPhone 3GS nur einen Aufschlussgrad von 0,4 M.-%, wohingegen das iPhone 5 einen Aufschlussgrad von 36,3 M.-% erreicht.

5.1.5 Fairphone - FP1

Die Demontage des „Fairphone First Edition“ war, anders als zuvor gedacht, sehr mühsam. Im Vergleich zu den davor demontierten Mobiltelefonen waren keine Unterschiede in der Demontagefreundlichkeit zu erkennen. Dies spiegelte sich auch in der Gesamtdemontagezeit von 8 Minuten und 24 Sekunden wieder und lässt sich damit zeitlich in die Kategorie von richtigen Hightechprodukten wie iPhone, Huawei P8 Lite und Sony Xperia M2 einordnen.

Die Entnahme des Akkus gestaltete sich sehr einfach, innerhalb von drei Sekunden konnte dieser, durch Abheben des Deckels, entnommen werden. Anschließend waren fünf Schrauben zu lösen, diese jedoch zu finden war relativ schwierig, da sie mit runden Klebestreifen überklebt waren. Nach dem Lösen der Schraubenverbindung konnten das Gehäusevorderteil und -hinterteil voneinander getrennt werden. Zur Entnahme des oberen Logikboards waren drei Schrauben zu lösen und zusätzliche Verbindungen abzutrennen. Das untere Logikboard konnte anschließend mit zwei Schrauben entfernt werden. Danach wurden die Kamera und ein Gummistück entfernt und die restlichen Teile in die Fraktionen aufgetrennt (vgl. Abbildung 27).

Wie aus der Beschreibung des Demontagevorganges hervorgeht, war der mühsamste Teil das Auffinden der fünf ersten Schrauben. Dies verursachte auch den größten Zeitaufwand, womit die generell sehr hohe Gesamtdemontagezeit erklärbar ist.



Abbildung 27: Demontiertes Fairphone FP1

In Tabelle 24 sind die erhaltenen Werte für die Demontage des Fairphone FP1 aufgelistet und anschließend wird mit Formel 21, 22 und 23 der gesamte Aufschlussgrad bestimmt.

Tabelle 24: Daten des Fairphone FP1

Hersteller	Modell	Jahr	Akku [mAh]	Gewicht [g]	Bewertung	Batterietyp
Fairphone	FP1	2013	2.000	165	~	LiB
	Akku [g]	Metall [g]	Kunststoff [g]	Rest [g]	t_{Akku} [s]	t_{Gesamt} [s]
	40,4	26,6	12,1	86,0	3	504

$$\text{Aufschlussgrad FP1 Metall [\%]} = \frac{26,6 \text{ [g]}}{165 \text{ [g]}} \cdot 100 \text{ [\%]} = 16,1 \text{ [\%]} \quad (21)$$

$$\text{Aufschlussgrad FP1 Kunststoff [\%]} = \frac{12,1 \text{ [g]}}{165 \text{ [g]}} \cdot 100 \text{ [\%]} = 7,3 \text{ [\%]} \quad (22)$$

$$\text{Gesamt Aufschlussgrad FP1 [\%]} = 16,1 \text{ [\%]} + 7,3 \text{ [\%]} = 23,4 \text{ [\%]} \quad (23)$$

Mit einem Aufschlussgrad von 23,4 M.-% zählt das FP1 nicht zu den Spitzenreitern was den Aufschluss angeht, womit im Vergleich zu anderen Modellen z.B.: Archos 59 Titanium die Recyclingfähigkeit noch weiter ausgebaut werden kann.

5.2 Ergebnisse der Mobiltelefondemontage

Die durch die Demontage gewonnenen Daten des jeweiligen Modelles sind in Anhang 8 und 9 dargestellt. Im Durchschnitt wog ein Mobiltelefon 123 g, wobei der Akku ca. 23 M.-% des Gesamtgewichtes ausmachte (vgl. Tabelle 25). Mit 49,3 g pro Mobiltelefon stellte die Fraktion *Rest* den größten Anteil dar. Um den Einfluss der Smartphones darstellen zu können, erfolgte eine getrennte Berechnung der demontierten Mobiltelefone für den Zeitraum 2002 – 2007 und 2008 - 2016. Die Grenze wurde zwischen 2007 und 2008 gezogen, da mit dem Jahr 2007 das erste iPhone auf den Markt kam und damit die Ära der Smartphones erst richtig begann.

Tabelle 25: Durchschnittswerte der gesamten Demontage

DURCH-SCHNITT	Modelle [Stk.]	Gewicht [g/Stk.]	Akku [g/Stk.]	Metall [g/Stk.]	Kunststoff [g/Stk.]	Rest [g/Stk.]	t_{Akku} [s/Stk.]	t_{Gesamt} [s/Stk.]
Alle Modelle	65	123	28,8	9,5	29,4	49,3	49	135
Σ Modelle 2002-2007	12	96	20,4	8,3	23,5	38,8	8	207
Σ Modelle 2008-2016	53	129	30,7	9,8	30,8	51,7	59	110

5.3 Interpretation der Ergebnisse

Bei einem Vergleich der Daten für die unterschiedlichen Zeiträume fällt auf, dass Mobiltelefone ab 2008 mehr wogen. Dies hängt einerseits mit dem Gewicht des Akkus zusammen, der im Durchschnitt um 10 g schwerer wurde, andererseits wurden aber auch die Mobiltelefone größer. Bei den Handys vor 2007 war es noch gebräuchlich klein und kompakt zu bauen, da sie meist nur wenige Funktionen hatten, war dies auch möglich. Durch die neuen Möglichkeiten, die die Generation der Smartphones mit sich brachte, und damit Radio, MP3-Player, Fotoapparat, Fitnessstracker und vieles mehr in sich vereinte, änderte sich natürlich auch die darin verbaute Technologie. Damit ist einerseits das höhere Gesamtgewicht und andererseits der Anstieg der Fraktion *Rest* erklärbar.

Werden die Zeiten, die für den Ausbau eines Akkus benötigt werden verglichen, wird deutlich, dass die Entnahme des Akkus bei Mobiltelefonen nach 2007 rund siebenmal so lange dauert wie davor. Ein Grund dafür ist die Art des Einbaus des Akkus ins Gerät. Bei den neuen Geräten ist ein Großteil des Handys zu demontieren, um an den Akku heranzukommen (vgl. Kapitel 5.1.3). In Anhang 8 und 9 sind jene Modelle, bei denen der Akku nicht ohne Demontage entnommen werden konnte, bei der Bewertung farblich gekennzeichnet. Von den 65 verschiedenen Modellen waren davon nur acht Modelle betroffen. Diese acht Modelle wurden in den Jahren 2009 bis 2016 auf den Markt gebracht, das sind rund 7 % der untersuchten Modelle im Zeitraum von 2008 bis 2016. Womit dieses Ergebnis im Gegensatz zur allgemeinen Meinung relativ gering ausfällt.

Wird die gesamte Demontagezeit der Mobiltelefone vor und nach 2007 betrachtet, so benötigte die Demontage der älteren Modelle mehr Zeit als jene der Neueren. Weswegen dieser markante Unterschied auftritt ist nicht genau erklärbar. Eine Erklärungsmöglichkeit wäre, dass die Demontagetiefe bei älteren Mobiltelefonen meist höher ist als bei den neueren Modellen, diese Theorie stimmt jedoch nicht für alle Modelle. Eine andere Möglichkeit wäre, dass durch die unterschiedlichen Personen, die Demontagen an den verschiedenen Modellen vorgenommen haben, die Arbeitsgeschwindigkeit variierte. Die Erfahrung und Schnelligkeit, die durch die Demontage mit der Zeit gewonnen wurde, trug aber sicher zur zeitlichen Verbesserung bei den neueren Modellen bei.

Die beste Möglichkeit eines Vergleiches zwischen den Beispielmotellen bietet jedoch die Berechnung der Aufschlussgrade der einzelnen Modelle, die sehr unterschiedliche Ergebnisse lieferte. Das Archos 59 Titanium stach nicht nur bei der Demontagefreundlichkeit, sondern auch mit seinem sehr hohen Aufschlussgrad von 54,3 M.-% sehr positiv hervor. Wohingegen das iPhone 3GS zwar leicht zu demontieren war, beim Aufschlussgrad aber mit nur 0,4 % einen sehr schlechten Wert erreichte. Die aus der Demontage und dem Aufschlussgrad hervorgehenden gewonnenen Erkenntnisse werden im folgenden Kapitel bearbeitet.

5.4 Verbesserungsvorschläge und Diskussion

Ziel der Demontage der Mobiltelefone war es, die Verbesserungsmöglichkeiten in der eingesetzten Verbindungstechnik aufzuzeigen und dadurch das Ökodesign, die Wiederverwendung und die Demontage- bzw. Recyclingfreundlichkeit zu verbessern.

Weswegen ein Ziel im Hinblick auf das Ökodesign von Mobiltelefonen ein schneller und einfacher Ausbau des Akkus sein sollte. Auch laut Ökodesign Richtlinie Anlage I, Teil 1 ist „[...] die leichte Zugänglichkeit zu Bauteilen und Materialien die gefährliche Stoffe beinhalten [...]“ für die Bewertungskriterien von Bedeutung (BMWA, 2007). Da es sich beim Akku um gefährlichen Abfall handelt und das Mobiltelefon damit einer Schadstoffentfrachtung vor einer weiteren Behandlung unterzogen werden muss, ist eine leichte Zugänglichkeit von noch größerer Bedeutung. Schiebe- und Schnappmechanismen haben sich vor der Ära der Smartphones bereits bewährt und werden von einigen namhaften Herstellern wie zum Beispiel Samsung und Sony auch noch bei allen Modellen, die bei der Demontage zerlegt wurden, verwendet.

Für die Demontagezeit, sowie den Aufschlussgrad ist die in den Mobiltelefonen verwendete Verbindungstechnik von großer Bedeutung. Dabei sind lösbare Verbindungen (Schraub-, Steck- und Schnappverbindungen) den nicht lösbaren Verbindungen (Kleben, Löten, Schweißen, Nieten) für einen höheren Aufschlussgrad vorzuziehen. Auf Basis der Demontage von Mobiltelefonen sind bei der kraftschlüssigen Verbindung für eine geringe Demontagezeit die Steck- bzw. Schnappverbindung einer Schraubverbindung vorzuziehen. Vor allem beim Vereinen von Displayeinheiten sind Schnappverbindungen vgl. Archos 59 Titanium sehr gut geeignet. Ein weiterer wichtiger Punkt, der bei der Demontage der Mobiltelefone häufiger auffiel, war das zusätzliche Überkleben einiger Schrauben, was für eine schnelle Demontage nicht sehr vorteilhaft war. Für den Fall, dass Klebeverbindungen nicht vermeidbar sind, kann, wie beim Beispiel des iPhone 5, die Klebeverbindung durch Ziehen an der Lasche lösbar gestaltet werden.

Bei Reparatur- bzw. Demontagefreundlichkeit sind Beschriftungen der zu trennenden Teile und eine farbliche Markierung der Schrauben wie beim iPhone 3GS sehr hilfreich. Diese Maßnahmen erleichtern die Reparaturfreundlichkeit für den Benutzer bzw. für die Wiederverwendung und können dadurch die Lebensdauer des Produktes oder zumindest Teile davon verlängern.

Die Verwendung von unterschiedlichen Stoffen und Materialien wurde zwar nicht im Detail betrachtet, was jedoch eindeutig gesagt werden kann ist, dass der Einbau von vielen verschiedenen Materialien und Verbundstoffen zu vermeiden ist. Für die Verwendung von unterschiedlichen Materialien bei maximalem Aufschlussgrad sind lösbare Verbindungen zu verwenden, denn damit kann eine maximale Werkstoffrückgewinnung und ein gutes Recycling gewährleistet werden. Dabei sollten möglichst reine Werkstoffe und sehr wenig Verbundmaterial zum Einsatz kommen.

Das Ergebnis der Demontage geht einher mit den von Martens und Goldman (2016, S. 542) vorgeschlagenen Gestaltungsoptimierungen für ein EAG. Ein umweltgerechtes Produkt im Hinblick auf Ökodesign, *Reuse* und Recycling sollte Entnahme-, Zerlegungs- und Zerkleinerungsgerecht gestaltet sein. Zusätzlich sollten für eine bessere Werkstofftrennung die einzelnen Bauteile beschriftet sein; dies wäre vor allem bei der Vielzahl an verschiedenen Kunststoffen von Vorteil. Bei der Verbindungstechnik sollte auf form- oder kraftschlüssige Verbindungen gesetzt werden, die eine einfachere Separierung der Werkstoffe ermöglicht. Der Einsatz von unterschiedlichen Werkstoffen sollte so gering wie möglich sein (Martens und Goldman, 2016, S. 542).

Wie bereits angedeutet, lag das Ergebnis der Demontage des Fairphone 1 (FP1) unter den Erwartungen und wirft somit eine Frage auf. Bringt eine Änderung in Richtung Modulbauweise das angestrebte Ziel, nämlich eine Verlängerung der Lebensdauer und damit die Reduktion von Mobiltelefonabfällen. Da sich die Entwicklung der Modulbauweise noch in den Anfängen befindet und das FP1 das erste Mobiltelefon mit dieser Bauweise war, gibt es Verbesserungen im Bereich der Modulverbindungen, die aber bereits im FP2, siehe Abbildung 21 umgesetzt worden sind. Die Idee unterschiedliche Funktionen in verschiedene Module zu bauen und so sein personalisiertes Mobiltelefon zu kreieren, wie dies beim ARA Mobiltelefon der Fall ist, bringt zu der modularen Bauweise zusätzliche Vorteile. Das Grundgerüst des Mobiltelefons bleibt durch die viel Zahl von Modulen, die darauf passen, für den User über längere Zeit hin interessant. Funktioniert ein Modul nicht mehr oder lässt sich nicht mehr reparieren muss nicht das gesamte Mobiltelefon ausgetauscht werden, sondern nur ein einzelnes Modul. Womit das Ziel der Modulbauweise erfüllt wird.

Doch auch bei der modularen Bauweise von Mobiltelefonen ist auf die Verbindungstechnik zu achten. Der Einsatz von löslichen Verbindungen beeinflusst sowohl die Demontagefreundlichkeit als auch die Demontagezeit positiv. Des Weiteren wird bereits bei der Planung des Modules, durch die Wahl des richtigen Fügeverfahrens, ein großer Schritt in Richtung Reinheit von Sekundärrohstoffen gemacht. Um eine reine und große Menge an Material aus einem Recyclingprozess zurückzugewinnen und es als Sekundärrohstoff wieder in den Rohstoffkreislauf einfließen zu lassen, sind die Verwendung von löslichen Verbindungen und wenig Verbundmaterial das A und O für die umweltgerechte Gestaltung eines Modules. So kann sichergestellt werden, dass nach Ablauf der Lebensdauer ein Abfall zurückbleibt, der nach seiner Demontage und einer anschließenden Aufbereitung, wieder zu einem großen Teil in den Rohstoffkreislauf eingebracht werden kann.

Generell wird Lebensdauer von Mobiltelefonen auf rund eineinhalb bis fünf Jahre geschätzt. Durch geplante Obsoleszenz seitens der Hersteller landet ein großer Teil der Mobiltelefone bereits vor Ablauf der Lebensdauer bei den Elektro- und Elektronikaltgeräten (Martens und Goldman, 2016, S. 7, 439). Damit sind aber nicht nur eingebaute Bruchstellen in Geräten gemeint, deren Einbau gemäß Artikel 4 RL 2012/19/EU (WEEE-Richtlinie) ohne sinnvollen Vorteil z.B.: für den Umweltschutz und/oder die Sicherheit nicht erlaubt ist. Durch den gesättigten Markt müssen die Hersteller die neuen Produkte für die Nutzer attraktiv machen, dies geschieht unter anderem durch eine Veränderung im Design oder am Aufbau der

Geräte. Zum Beispiel werden sie dünner und leichter gebaut und mit diesen Attributen beworben; im Endeffekt sind die aber genau durch diese Charakteristiken anfälliger für Bruchstellen. Teilweise geht es aber so weit, dass neue Softwaresysteme auf älteren Geräten nicht mehr funktionieren, wodurch zum Beispiel Mobiltelefone zwar noch bzw. teilweise funktionieren aber nicht mehr am neusten Stand der Technik sind. Durch diese indirekte Obsoleszenz kommt es dazu, dass der Endnutzer sein Mobiltelefon bereits vor Ablauf der Lebensdauer entsorgt und der Abfallstrom für Elektro- und Elektronikaltgeräte weiter steigt.

Viele dieser nicht mehr benutzten Elektro- und Elektronikaltgerät vor allem Elektrokleingeräte, wie Mobiltelefone werden aber nicht sofort nach Kauf der Neuware entsorgt. Sie fallen dem „*Hoarding Effekt*“ zum Opfer und werden meist mehrere Jahre in Schubladen oder ähnlichem im Haushalt aufbewahrt. Wie Geyer und Blass (2010) festgestellt haben sinkt, durch die lange Lagerung, der Preis für jene Mobiltelefone, die als *Reuse*-Mobiltelefone weiter verkauft werden. Deswegen sollte wie von Duygana und Meylan (2015) vorgeschlagen, zuerst das Sammelverhalten der Bevölkerung analysiert werden und daraus neue Sammelprogramme erarbeitet bzw. die bestehende Sammlung adaptiert werden.

Als letzter Punkt ist noch zu erwähnen, dass *Reuse* auch seine negativen Seiten hat. Bei der kritische Betrachtung des *Reuse*-Konzeptes durch Geyer und Blass (2010) wurde festgestellt, dass durch den Kauf eines *Reuse*-Mobiltelefons von einer Person, die sich auch ein neuwertiges Mobiltelefon kaufen hätte können, ein neuwertiges Mobiltelefon umsonst produziert wird. Wodurch der an der Umwelt angerichtete Schaden vermutlich höher ist, da durch *Reuse* keine neuen Produkte eingespart würden.

Abschließend ist zu sagen, dass aus Ökodesigngesichtspunkten in der Verbindungstechnik am meisten Potenzial für eine Verbesserung steckt. Einerseits kann damit die Reparaturfreundlichkeit verbessert werden, was zu einer Verlängerung der Lebensdauer des Produktes führt. Andererseits ist die Verbindungstechnik auch für die Demontage und in weiterer Folge die Rückgewinnung der Werkstoffe und ein Wiedereinbringen in den Rohstoffkreislauf ein guter Ansatz.

6 Schlussfolgerung

Abschließend kann gesagt werden, dass durch die richtige Wahl der Verbindungstechnik ein erheblicher Beitrag zur Demontagefreundlichkeit von Mobiltelefonen geleistet werden kann. Durch Ergebnis der Demontage der Mobiltelefone konnte die Aussage von Martens und Goldmann (2016, S. 542) bestätigt werden, denn durch den Einsatz von löslichen Verbindungen und die Auswahl des richtigen Materials wird die Reparaturfähigkeit, die Demontagefreundlichkeit und die Wiedergewinnung der eingebauten Werkstoffe erleichtert.

Um die Langlebigkeit der Produkte zu verbessern, ist die modulare Bauweise, wie diese im Ara Mobiltelefon verbaut werden soll, sicher ein guter Ansatz. Dennoch gilt es zu bedenken, dass es auch bei der modularen Bauweise auf die richtige Verbindungstechnik ankommt. Denn es hilft der Umweltfreundlichkeit des Mobiltelefons, im Hinblick auf Ressourcenschonung, nichts, wenn die Lebensdauer verlängert wird, aber bei der Entsorgung nur wenige Werkstoffe als Sekundärrohstoffe in den Werkstoffkreislauf zurückgeführt werden können.

Ein weiterer Punkt für die großen Mengen an Elektro- und Elektronikaltgeräten, die im Abfall landen, ist die von den Herstellern geplante Obsoleszenz. Darunter werden aber nicht nur eingebaute Bruchstellen in den Geräten verstanden, welche laut WEEE-Richtlinie verboten sind, sondern auch am Beispiel von Mobiltelefonen Veränderungen an der Software. Diese führen dazu, dass das Mobiltelefon zwar noch nutzbar ist, aber nicht mehr am neusten Stand der Technik. Auch Verbesserungen im Design und sehr kurzes Intervall bei der Markteinführung neuer Produkte können als geplante Obsoleszenz ausgelegt werden. Durch die immer rascheren Veränderungen und Verbesserungen der ITK-Geräte wird auch mehr EAG-Abfall produziert.

Im Zuge dieser Arbeit wurde auch das Thema *Reuse* am Beispiel von Mobiltelefonen näher betrachtet. Da die Effektivität und Quantität bei *Reuse* sehr stark von den rechtlichen Rahmenbedingungen abhängt, sollte hier seitens der gesetzgebenden Behörde eine Quote für das *Reuse* eingeführt werden. Da das *Reuse* von Produkten aber zu Effekt der „*displaced production*“ führt, ist es fraglich, ob eine Quote für das *Reuse* von der Wirtschaft überhaupt getragen würde. Um der „*displaced production*“ entgegenzuwirken, müssten weniger Elektro- und Elektronikgeräte produziert werden, da ansonsten wie von Sarath et al. (2015) festgestellt wurde keine Einsparung von Rohstoffen und keine Verringerung der Abfallmenge erfolgt und der *Reuse*-Ansatz damit umsonst wäre.

Um eine bessere getrennte Sammlung sowohl im EKG als auch im Batteriebereich erreichen zu können, ist eine Analyse des Sammelverhaltens der Bevölkerung sehr ratsam. Wie von Sarath et al. (2015) vorgeschlagen, sollten die Faktoren, die das Sammelverhalten beeinflussen genauer betrachtet werden und dem entsprechend eine Anpassung des alten Systems bzw. ein neues Sammelsystem eingeführt werden. Wie am positiven Beispiel der Ö3-Wundertüte sichtbar wird, muss die Bevölkerung entsprechend motiviert werden bzw. verstehen lernen, wofür eine getrennte Sammlung dieser Fraktionen sinnvoll ist.

Die getrennte Sammlung ist auch bei den Batterien ein sehr entscheidender Punkt. Hierzu kommt, dass es sich bei den Batterien und Akkus um gefährliche Abfälle handelt. Auf Basis der Ergebnisse, die bei der Sortierung und Demontage gefunden wurden, ist ebenfalls der Faktor Mensch sehr ausschlaggebend. Bei den Geräten der Fraktion *EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage* konnten rund 88 % der Batterien durch einen geringen Aufwand ausgebaut werden. Diese Entnahme seitens des Endnutzers bzw. Abfallerzeuger wurde aber nur bei 15 % der Geräte, die einen geringen Aufwand für den Ausbau aufwiesen durchgeführt. Somit ist weniger die Verbauung der Batterie im Gerät das Problem des Eintrags von gefährlichem Abfall in den EKG-Strom, als der Endnutzer, der seinen Pflichten der Entnahme der Batterien für eine getrennte Sammlung nicht nachkommt. Durch die derzeitige Rechtslage und abfallwirtschaftliche Praxis ist es dem Mitarbeiter eines ASZ-Betriebes nicht gestattet Batterien, die durch eine Demontage zu entfernen wären, aus den Geräten zu entnehmen. Dieses Verbot ist sehr fragwürdig, da in den ASZ die Mengen an EKG relativ überschaubar sind und eine Entnahme vor Ort dementsprechend relativ schnell und einfach vonstattengehen würde. Dadurch würden die Mengen an Batterien im EKG-Strom verringert und es würden nachfolgend bei den Behandlern keine großen Mengen an Batterien mehr anfallen. Durch die Entnahme der Batterien bei den ASZ würden sich die Mengen an *Batterien, lose*, die bei den Entsorgungsbetrieben anfallen verringern. Dadurch würden sich auch die Anzahl an deformierten und zerstörten Batterien und das Risiko eines Brandes, der durch eine Batterie ausgelöst werden würde, verringern.

Wird mit den Ergebnissen aus der Sortierung und Demontage der ermittelte Anteil an Batterien, der in den sechs qualifizierten Stichproben berechnet wurde, auf den EKG-Strom des Jahres 2015 hochgerechnet, so ergibt sich eine Masse von 235 t (s: ± 92 t) an Batterien (gesamt), einschließlich 40 t (s: ± 21 t) Li-Batterien im EKG-Strom in Österreich. Diese Mengen sind nicht sehr hoch aber aufgrund der Gefährlichkeit der Batterien im EKG-Abfall, gilt in Zukunft sicherzustellen, dass diese im Zuge der Schadstoffentfrachtung möglichst vollständig getrennt erfasst werden. Um ein besseres Sammelergebnis für Batterien zu erzielen und Fehlwürfe in andere Fraktionen zu vermeiden, ist ein wichtiger Punkt die Bevölkerung auf die Probleme, die daraus entstehen, aufmerksam zu machen und in weiterer Folge die Sammlung entsprechend anzupassen und umzustellen.

Doch wie sich die Zukunft im Bereich der Elektro- und Elektronikgeräte, im Speziellen jene der Informations- und Kommunikationsgeräte entwickeln wird, ist noch ungewiss, denn hier liegt noch viel offenes Forschungspotenzial. Es ist fraglich, ob sich eine modulare Bauweise durchsetzen wird. Werden die Hersteller von Mobiltelefonen den festen Einbau von Akkus in die Geräte vorantreiben? Werden sich die neue Systeme bzw. Arten der Sammlung durchsetzen? Werden die Endnutzer einsehen, dass eine getrennte Sammlung einen Sinn hat und sich daran halten? All diese Fragen bleiben offen und können vielleicht in einigen Jahren beantwortet werden.

7 Zusammenfassung

Durch den zunehmenden Anstieg der Informations- und Kommunikationstechnik steigt auch die Menge an Elektro- und Elektronikgeräten (Behrendt, 2015). In Österreich wurden im Jahr 2015 laut Entwurf des Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 rund 80.200 Tonnen an Elektro- und Elektronikgeräten einer getrennten Sammlung zugeführt (BMLFUW, 2017a). Das Ökodesign von Produkten hat unter anderem einen großen Einfluss auf die Lebensdauer und die Reparaturfreundlichkeit von Geräten hat und kann somit zur Verringerung des EKG Aufkommens beitragen.

Einleitend wurden die rechtlichen Rahmenbedingungen auf europäischer Ebene, sowie im österreichischen Recht recherchiert. Dabei wurden geltenden rechtlichen Bestimmungen auf Basis des Abfallwirtschaftsgesetzes 2002, der Elektroaltgeräteverordnung, der Abfallbehandlungspflichtenverordnung und der Ökodesignverordnung, die für die Behandlung der Themen wichtig sind, herausgearbeitet.

Im ersten Praxisteil dieser Arbeit wurde zuerst die Methodik erläutert, nach der die Probenahme, Sortierung, Demontage und die anschließende Auswertung durchgeführt wurde. Im Anschluss an die Beschreibung der vier Versuchstage und die daraus erhaltenen sechs qualifizierten Stichproben wurden die Ergebnisse analysiert und interpretiert. Im Zuge der Demontage wurden des Weiteren der notwendige Aufwand zur Entfernung der Batterien und der Zustand der Batterien ermittelt.

Um die Verbauung der Batterien am Beispiel von Mobiltelefonen zu untersuchen, wurden im zweiten Teil der praktischen Arbeit 65 verschiedene Modelle von Mobiltelefonen demontiert. Aus den Ergebnissen wurden anschließend Vorschläge und Änderungen im Bereich der Verbindungstechnik vorgeschlagen. Diese Anmerkungen sollen zur Verbesserung des Ökodesigns von Mobiltelefonen beitragen.

In einem abschließenden Kapitel wurden die Ergebnisse der Arbeit festgehalten und diskutiert, Verbesserungsmöglichkeiten im Hinblick auf die getrennte Sammlung gegeben und ein Ausblick in die Zukunft angestellt.

8 Verzeichnisse

8.1 Literaturverzeichnis

- Abele, E., Anderl, R., Birkhofer, H., Rüttinger, B. (Eds.), 2008. EcoDesign: Von der Theorie in die Praxis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Behrendt, S., 2015. Wie die digitale Medienwelt die Umwelt stresst. *tv diskurs* (74), 46–49.
- BMLFUW, 2002. Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002): AWG 2002.
- BMLFUW, 2016. Verordnung des BMLFUW über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten: Elektroaltgeräteverordnung - EAG-VO.
- BMLFUW, 2017a. Bundes-Abfall-Wirtschaftsplan 2017, Wien. Zuletzt geprüft am: 06.02.2017.
- BMLFUW, 2017b. Verordnung des BMLFUW über Behandlungspflichten von Abfällen: Abfallbehandlungspflichtenverordnung.
- BMWA, 2007. Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte: Ökodesign-Verordnung 2007 – ODV 2007.
- Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2009. Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte: Richtlinie 2009/125/EG.
- Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012. Elektro- und Elektronik-Altgeräte: Richtlinie 2012/19/EU.
- Duygana, M., Meylan, G., 2015. Strategic management of WEEE in Switzerland—combining material flow analysis with structural analysis. *Resources, Conservation and Recycling* (103), 98–109.
- Fairphone, 2016. Das Fairphone. <https://www.fairphone.com/de/>. Zuletzt geprüft am: 04.05.2017.
- Geyer, R., Blass, V., 2010. The economics of cell phone reuse and recycling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (47), 515–525.
- Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z., Hillier, G., 2015. Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste Management* (39), 305–313.
- WKO (Hg.), 2016. Grundlagen zur Ökodesign-Richtlinie: Eckpunkte, Abläufe und rechtliche Umsetzung in Österreich. https://www.wko.at/service/umwelt-energie/Grundlagen_zur_Oekodesign-Richtlinie.html. Zuletzt geprüft am: 12.04.2017.
- Herrmann, E., 2016. Google Project Ara: Preis, Release, technische Daten, Bilder und News. <https://www.androidpit.de/google-project-ara-bilder-preis-release-daten-und-news>. Zuletzt geprüft am: 04.05.2017.
- Keller, D., 2013. Der Boxplot. <http://www.statistik-und-beratung.de/2013/02/der-boxplot/>. Zuletzt geprüft am: 11.05.2017.
- Konstituierende Nationalversammlung für Deutschösterreich, 2017. Bundes-Verfassungsgesetz: B-VG.

- Lossmann-Iliev, G., 2016. magdas - Datenbankauszug 2011-2015.
- Martens, H., Goldmann, D., 2016. Recyclingtechnik: Fachbuch für Lehre und Praxis, 2nd ed. Springer Vieweg, Wiesbaden, 554 S.
- Meunier, C., Schoen, L., Voigt, L., ZInsius, C., 2016. Ökodesign. Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekodesign>. Zuletzt geprüft am: 06.03.2017.
- Ö3, 2016. Ö3 Wundertüte macht Schule: Zahlen, Daten und Fakten - So macht die Ö3 Wundertüte Schule. Zuletzt geprüft am: 02.05.2016.
- SIM (Hg.), 2014. Ökologische Bewertung. <http://www.stiftung-mehrweg.de/oekologische-bewertung.php>. Zuletzt geprüft am: 28.05.2017.
- ON, 2005. Verwertung und Beseitigung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten. Austrian Standards 13.030.40. https://lesesaal.austrian-standards.at/action/de/private/details/201627/OENORM_S_2106_2005_09_01. Zuletzt geprüft am: 26.02.2017.
- Ott, C., 2016. WEEE-RL Elektroaltgeräteverordnung. https://www.wko.at/Content.Node/branchen/t/WEEE_EAG-VO.pdf. Zuletzt geprüft am: 19.12.2016.
- Pauly, M., 2014. Zwei smarte Exoten: Yotaphone und Fairphone. Stiftung Warentest (5), 29.
- Pierce, D., 2016. Project Ara Lives: Google's Modular Phone Is Ready for You Now. <https://www.wired.com/2016/05/project-ara-lives-googles-modular-phone-is-ready/#slide-1>. Zuletzt geprüft am: 04.05.2017.
- Prenner, T., 2016. Ara: Googles modulares Smartphone kommt im Herbst. <https://futurezone.at/produkte/ara-googles-modulares-smartphone-kommt-im-herbst/199.992.333>. Zuletzt geprüft am: 04.05.2017.
- Rudiferia, J., 2006. Grund- und Fachkenntnisse, 2nd ed., 481 S.
- Sarath, P., Bonda, S., Mohanty, S., Nayak S. K., 2015. Mobile phone waste management and recycling: Views and trends. Waste Management (46), 536–545.
- Schuh A., 2017. Sammelquote WEEE-RL und deren umsetzung in Österreich, Wien.
- EAK (Hg.), 2016. Tätigkeitsbericht 2015, Wien. http://www.eak-austria.at/presse/TB/Taetigkeitsbericht_2015.pdf. Zuletzt geprüft am: 23.05.2017.
- Tesar, M., Öhlinger, A., 2009. Elektroaltgerätebehandlung in Österreich: Zustandsbericht 2008. REP-0199, Wien. <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0199.pdf>. Zuletzt geprüft am: 06.03.2017.
- TU Wien, 2017. Was ist Ecodesign. <http://www.ecodesign.at/einfuehrung/allgemein/ecodesign/index.de.html>. Zuletzt geprüft am: 06.03.2017.
- Vetterl, Y., 2015. Fairphone 2: Zu teuer, zu hässlich, zu schwach. http://www.chip.de/artikel/Fairphone-2_Black_Matte-Handy-Test_87058830.html. Zuletzt geprüft am: 04.05.2017.
- Wedekind, K., 2013. Neues Riesen-Smartphone zum kleinen Preis: Was taugt das Archos Platinum 53? <http://www.n-tv.de/technik/Was-taugt-das-Archos-Platinum-53-article10906946.html>. Zuletzt geprüft am: 20.04.2017.

8.2 Abkürzungsverzeichnis

AbfallBPV	Abfallbehandlungspflichtenverordnung
ASZ	Altstoffsammelzentrum
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
b	Breite
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMWA	Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit
d.h.	das heißt
EAG	Elektro- und Elektronikaltgeräte
EG	Elektro- und Elektronikgeräte
EKG	Elektro- und Elektronikkleingeräte
EMAS	<i>Eco-Management und Audit Scheme</i>
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
FP	Fairphone
g	Gramm
h	Höhe
ISO	Internationale Organisation für Normung
IKT	Information- und Kommunikationstechnik
IT	Informationstechnik
kg	Kilogramm
l	Länge
Li	Lithium
m	Meter
m ³	Kubikmeter
mAh	Milliamperestunde
mm	Millimeter
s	Sekunden
Stk.	Stück
ODV	Ökodesignverordnung
ON	Österreichisches Normungsinstitut
ÖNORM	Österreichische Norm
RL	Richtlinie
t	Tonnen
TU	Technische Universität
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
VO	Verordnung
WEEE	Waste of Electrical and Electronic Equipment
z.B.	Zum Beispiel

Zn

Zink

8.3 Tabellen

Tabelle 1: Gewichte der Sortierung von A1.S1	25
Tabelle 2: Gewichte vor und nach der Demontage von A1.S1	25
Tabelle 3: Gewichte der Sortierung von A1.S2	26
Tabelle 4: Gewichte vor und nach der Demontage von A1.S2	26
Tabelle 5: Gewichte der Sortierung am Standort B	28
Tabelle 6: Gewichte vor und nach der Demontage am Standort B	29
Tabelle 7: Gewichte der Sortierung von A2.S1	30
Tabelle 8: Gewichte vor und nach der Demontage von A2.S1	31
Tabelle 9: Gewichte der Sortierung von A2.S2	32
Tabelle 10: Gewichte vor und nach der Demontage von A2.S2	32
Tabelle 11: Gewichte der Sortierung am Standort C	33
Tabelle 12: Gewichte vor und nach der Demontage am Standort C	34
Tabelle 13: Gewichte der Sortierungen der qualifizierten Stichproben	35
Tabelle 14: Gewichte der gesamten Batterien und der aussortierten Li-Batterien der qualifizierten Stichproben	35
Tabelle 15: Anteil der Batterien und Li-Batterien in den Stichproben	35
Tabelle 16: Auswertung der Stichproben von B und C	40
Tabelle 17: Auswertung des Demontageaufwandes	41
Tabelle 18: Menge der gesammelten Altmobiltelefone und Menge der <i>Reuse-</i> Altmobiltelefone (Lossmann-Iliev, 2016)	45
Tabelle 19: Richtwerte in Anlehnung an Marktanteile für die Auswahl der Modelle	53
Tabelle 20: Daten Nokia 6020	55
Tabelle 21: Daten für Archos 59 Titanium	57
Tabelle 22: Daten für Apple iPhone 3 GS	58
Tabelle 23: Daten für Apple iPhone 5	59
Tabelle 24: Daten des Fairphone FP1	61
Tabelle 25: Durchschnittswerte der gesamten Demontage	61

8.4 Abbildungen

Abbildung 1: Symbol für die getrennte Sammlung von Elektro- und Elektronikgeräten (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2012).....	8
Abbildung 2: Fünfstufige Hierarchie (SIM, 2014)	11
Abbildung 3: Behälter für die Sortierung	20
Abbildung 4: Darstellung eines Boxplot-Diagramm mit Beschriftung der Bereiche (Keller, 2013).....	21
Abbildung 5: Gitterboxen Lager am Standort A1 am 24.11.2016	24
Abbildung 6: Links Haufwerk mit Probenahmestellen und rechts die vier Gitterboxen mit Material für Sortierung	26
Abbildung 7: Haufwerk am Standort B seitlich (links) und von vorne (rechts)	28
Abbildung 8: Skizze der Probenahme A2.S1 (links) und Haufwerk (rechts).....	30
Abbildung 9: Skizze des Gitterboxenlagers mit den vier ausgewählten Boxen (links) und die vier Boxen nach Entnahme (rechts)	31
Abbildung 10: Haufwerk mit Probenahmestellen (links) und Entladung des Materials (rechts)	33
Abbildung 11: Anteil der Batterien und Li-Batterien in der qualifizierten Stichprobe	36
Abbildung 12: Anteile an Batterien bzw. Li-Batterien in den qualifizierten Stichproben	37
Abbildung 13: Boxplot-Diagramm (links) und Balkendiagramm (rechts) der Li-Batterieanteile in der Batteriefraktion	38
Abbildung 14: Anteile der losen Batterien in der qualifizierten Stichprobe Boxplot Diagramm (links) Balkendiagramm (rechts).....	38
Abbildung 15: Anteil der Batterien (links) und Li-Batterien (rechts) in den Stichproben von B und C	40
Abbildung 16: Zustand der Batterien leichte Verrostungen (links) und Austritt von Batteriesäure (rechts).....	42
Abbildung 17: Zustand der Batterien starke Deformation (links) und Zerstörte Pouchzellen (rechts).....	42
Abbildung 18: Formschlüssige Verbindung (Rudiferia, 2006, S. 179)	49
Abbildung 19: Kraftschlüssige Verbindung (Rudiferia, 2006, S. 179).....	49
Abbildung 20: Stoffschlüssige Verbindung (Rudiferia, 2006, S. 179).....	49
Abbildung 21: Demontiertes FP2 (Vetterl, 2015).....	51
Abbildung 22: Ara Mobiltelefon mit einzelnen Modulen (Herrmann, 2016).....	52
Abbildung 23: Demontiertes Nokia 6020	55

Abbildung 24: Einzelteile des Archos 59 Titanium	56
Abbildung 25: Inneres des iPhone 3 GS mit Kennzeichnung (links) und Einzelteile (rechts).	57
Abbildung 26: Demontierte Einzelteile des iPhone 5	59
Abbildung 27: Demontiertes Fairphone FP1	60

Anhang**Anhang 1**

Sortierung Nr.	Behälter	Gewicht vor Demontage [kg]	Gewicht der Batterien nach Demontage [kg]	Gewicht des Restes nach Demontage [kg]	FOTO
Unklar			Aufteilen!	Aufteilen!	
Batterie, lose					
EKG, Batterie fehlend, ohne Demontage					
EKG, Batterie vorhanden, ohne Demontage					
EKG, Batterie vorhanden, mit Demontage					
EKG, ohne Batterie					
Fehlwurf					

Anhang 2

EKG Typ	Demontagevorgang	FOTO	FOTO

Anhang 3

qualifizierte Stichproben	Anteil Batterien in Stichprobe [%]	Anteil der Li-Batterien in Stichprobe [%]	Anteil Li-Batterien in Batteriefraktion [%]	Anteil Batterien, lose [%]
Minimum	0,41	0,04	9,29	0,12
1. Quartil	0,54	0,07	13,59	0,15
Median	0,78	0,16	17,02	0,17
2. Quartil	0,96	0,18	20,44	0,26
Maximum	1,18	0,18	22,76	0,41

Anhang 4

Stichproben aus B und C	Anteil Batterien in Stichprobe [%]	Anteil der Li-Batterien in Stichprobe [%]
Minimum	0,29	0,01
1. Quartil	0,32	0,03
Median	0,43	0,04
2. Quartil	0,51	0,04
Maximum	0,63	0,07

Anhang 5

Nr.	Hersteller	Model	Anzahl	Jahr	Akku	Gewicht [g]
1	Apple	iPhone 3GS	2	2009	1.220 mAh	135
2	Apple	iPhone 4S	2	2011		137
3	Apple	iPhone 5	2	2012	1.440 mAh	112
4	Apple	iPhone 5C	2	2013		132
5	Blackberry	Storm 9500	2	2008	1.380 – 1.400	155
6	Blackberry	Curve 8520	2	2009	1.150 mAh	105
7	Blackberry	Curve 9369	2	2011	1.000 mAh	99
8	Huawei	P6-U06	2	2013	2.000 mAh	121
9	Huawei	P8 Lite	2	2015	2.200 mAh	134
10	Nokia	6020	2	2004	760 mAh	90
11	Nokia	6151	2	2006	1.100 mAh	98
12	Nokia	6300	2	2007	860 mAh	91
13	Nokia	7230	2	2008	860 mAh	100
14	Nokia	5230	2	2009	1.320 mAh	113
15	Nokia	6303 classic	2	2009	1.050 mAh	96
16	Nokia	C2-01	2	2011	1.020 mAh	89
17	LG	U970	2	2007	800 mAh	120
18	LG	T385	2	2012	950 mAh	95
19	LG	E610	2	2012	1.500 – 1.540	125

Nr.	Hersteller	Model	Anzahl	Jahr	Akku	Gewicht [g]
20	LG	P710	2	2013	2.400 – 2.460	118
21	Alcatel	One Touch Pop C7	2	2014	1.900 mAh	162
22	Alcatel	One Touch Idol 3	2	2015	2.000 mAh	110
23	Sony	K750i	2	2005	900 mAh	99
24	Sony	W200i	2	2007	780 mAh	85
25	Sony	Xperia arc S	2	2011	1.460 mAh	117
26	Sony	Xperia go (PM-0090-	2	2012	1.305 mAh	110
27	Sony	Xperia M2	2	2014	2.300 mAh	148
28	Samsung	D980	1	2008	1.200 mAh	101
29	Samsung	OmniaPro B7320	1	2009	1.500 mAh	102
30	Samsung	C3300K	1	2010	1.000 mAh	80
31	Samsung	B2710	2	2010	1.300 mAh	116
32	Samsung	C3750	1	2011	800 mAh	89
33	Samsung	Nexus S	2	2011	1.500 mAh	129
34	Samsung	Galaxy Core Plus SM-G350	1	2013	1.800 mAh	132,5
35	Samsung	Galaxy S4 Mini	2	2013	1.900 mAh	107
36	Samsung	Galaxy Note 4	1	2014	3.220 mAh	176
37	Samsung	Galaxy Ace 4	2	2014	1.900 mAh	126
38	Samsung	Xcover 550	1	2015	1.500 mAh	120
39	HTC	Desire HD	2	2010	1.230 mAh	164
40	HTC	Wildfire	2	2011	1.300 mAh	118
41	HTC	Wildfire S	2	2011	1.230 mAh	105
42	HTC	Desire X	2	2012	1.650 mAh	114
43	HTC	One M8s	1	2015	2.840 mAh	160
44	HTC	One M9 Prime Camera	1	2016	2.840 mAh	158
45	Motorola	RAZR V3	2	2004	64 mAh	95
46	Motorola	Defy	2	2010	1.500 mAh	118
47	Fairphone	FP1	1	2013	2.000 mAh	165
48	Wiko	Getaway	1	2014	2.000 mAh	133
49	Oukitel	K6000	1	2015	6.000 mAh	214
50	Archos	59 Titanium	1	2014	2.600 mAh	130
51	CAT	B15	1	2013	2.000 mAh	170
52	elePhone	P9000	1	2015	3.000 mAh	170
	SUMME		89			

Anhang 6

Nr.	Hersteller	Model	Anzahl	Jahr	Akku	Gewicht [g]
1	Nokia	3410	1	2002	825 mAh	114
2	Nokia	6230i	2	2005	850 mAh	99
3	Nokia	5310	1	2008	860 mAh	70
4	Nokia	2730 classic	1	2009	1.020 mAh	87
5	Nokia	3720 classic	2	2009	1.050 mAh	94
D	Nokia	c2-01	1	2011	850 mAh	89
6	Emporia	TalkComfort	1	2004	1.000 mAh	80
7	Samsung	GT-E1190	1	2011	800 mAh	71
8	Samsung	Galaxy mini	1	2011	1.200 mAh	109
9	Samsung	Corby II	1	2011	1.000 mAh	103
10	Samsung	Galaxy S3 mini	1	2012	2.100 mAh	133
D	Samsung	Galaxy S4 mini	1	2013	1.900 mAh	107
D	Alcatel	One Touch Idol 3	1	2015	2.000 mAh	110
11	Alcatel	One Touch 1013X	1	??	500 mAh	60
12	Sony	T290a	1	2004	700 mAh	73
13	Audiovox		1	2004		
	SUMME		18			

Anhang 7

Modell	Demontagevorgang							
Akkutyp: Foto: Bewertung: <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>$m_{\text{Handy}} =$</td> </tr> <tr> <td>$m_{\text{Akku}} =$</td> </tr> <tr> <td>$m_{\text{Metall}} =$</td> </tr> <tr> <td>$m_{\text{KS}} =$</td> </tr> <tr> <td>$m_{\text{Rest}} =$</td> </tr> <tr> <td>$t_{\text{Akku}} =$</td> </tr> <tr> <td>$t_{\text{ges}} =$</td> </tr> </table>	$m_{\text{Handy}} =$	$m_{\text{Akku}} =$	$m_{\text{Metall}} =$	$m_{\text{KS}} =$	$m_{\text{Rest}} =$	$t_{\text{Akku}} =$	$t_{\text{ges}} =$	
$m_{\text{Handy}} =$								
$m_{\text{Akku}} =$								
$m_{\text{Metall}} =$								
$m_{\text{KS}} =$								
$m_{\text{Rest}} =$								
$t_{\text{Akku}} =$								
$t_{\text{ges}} =$								

Anhang 8

Handymodelle für Demontage (magdas RECYCLING) D.1														
Hersteller	Modelle	Jahr	Akku [mAh]	Gewicht [g]	Bewertung	Akku [g]	Metall [g]	Kunststoff [g]	Rest [g]	t _{Akku} [min:s]	t _{Akku} [s]	t _{Ges} [min:s]	t _{Ges} [s]	Batterietyp
Apple	iPhone 3GS	2009	1.220	135	+	24,7	0,3	0,3	109,5	04:42	282	07:00	420	LiPo
Apple	iPhone 4S	2011		137	-	24,5	38,5	21,5	53,5	01:32	92	06:32	392	LiPo
Apple	iPhone 5	2012	1.440	112	~	24,2	40,7	0,0	47,7	03:33	213	09:40	580	LiPo
Apple	iPhone 5C	2013		132	-	24,4	31,7	15,1	59,0	05:38	338	07:00	420	LiPo
Blackberry	Storm 9500	2008	1.380-1.400	155	~	28,8	20,5	26,6	81,9	00:14	14	03:45	225	LiB
Blackberry	Curve 8520	2009	1.150	105	~	22,3	0,5	32,9	47,7	00:04	4	04:08	248	LiB
Blackberry	Curve 9369	2011	1.000	99	-	20,4	1,0	21,3	54,2	00:02	2	01:40	100	LiB
Huawei	P6-U06	2013	2.000	121	~	34,7	31,5	15,5	40,6	00:15	15	03:32	212	LiPo
Huawei	P8 Lite	2015	2.200	134	~	35,1	4,3	49,1	44,6	02:15	135	08:40	520	LiB
Nokia	6020	2004	760	90	+	18,3	4,5	22,9	43,6	00:33	33	04:06	246	LiB
Nokia	6151	2006	1.100	98	+	22,8	1,3	28,0	47,7	00:05	5	02:30	150	LiPo
Nokia	6300	2007	860	91	~	17,7	19,4	12,4	44,3	00:03	3	03:12	192	LiB
Nokia	7230	2008	860	100	~	18,3	0,4	24,6	55,5	00:08	8	03:55	235	LiPo
Nokia	5230	2009	1.320	113	+	26,2	1,7	19,7	64,4	00:05	5	03:45	225	LiB
Nokia	6303 classic	2009	1.050	96	+	22,0	16,1	15,4	39,9	00:04	4	02:54	174	LiB
Nokia	C2-01	2011	1.020	89	+	21,4	11,1	21,4	22,7	00:04	4	02:29	149	LiB
LG	U970	2007	800	120	+	17,0	37,5	23,9	40,4	00:06	6	05:11	311	LiB
LG	T385	2012	950	95	+	21,0	0,1	26,5	49,9	00:05	5	03:41	221	LiB
LG	E610	2012	1.500-1.540	125	+	30,3	0,6	40,2	51,1	00:15	15	06:30	390	LiB
LG	P710	2013	2.400-2.460	118	+	40,8	0,6	36,9	40,6	00:04	4	05:30	330	LiB
Alcatel	One Touch Pop C7	2014	1.900	162	+	37,4	14,0	42,6	73,9	00:15	15	09:47	587	LiB
Alcatel	One Touch Idol 3	2015	2.000	110	+	30,4	1,1	39,7	36,8	01:02	62	05:17	317	LiB
Sony	K750i	2005	900	99	-	19,0	10,6	30,7	38,0	00:06	6	05:05	305	LiPo
Sony	W200i	2007	780	85	+	16,0	6,1	25,5	34,7	00:10	10	02:03	123	LiPo

Handymodelle für Demontage (magdas RECYCLING) D.1														
Hersteller	Modelle	Jahr	Akku [mAh]	Gewicht [g]	Bewertung	Akku [g]	Metall [g]	Kunststoff [g]	Rest [g]	t _{Akku} [min:s]	t _{Akku} [s]	t _{Ges} [min:s]	t _{Ges} [s]	Batterie-typ
Sony	Xperia arc S	2011	1.460	117	~	30,1	0,4	19,6	65,4	00:03	3	02:28	148	LiPo
Sony	Xperia go (PM-0090-BV)	2012	1.305	110	~	22,7	1,5	20,3	62,6	03:00	180	05:52	352	LiPo
Sony	Xperia M2	2014	2.300	148	~	46,2	18,6	45,6	37,5	01:56	116	08:40	520	LiPo
Samsung	D980	2008	1.200	101	+	27,3	10,2	31,6	49,0	00:05	5	05:29	329	LiB
Samsung	OmniaPro B7320	2009	1.500	102	+	31,2	8,9	20,2	41,7	00:05	5	05:55	355	LiB
Samsung	C3300K	2010	1.000	80	+	20,4	4,1	30,6	26,7	00:04	4	02:40	160	LiB
Samsung	B2710	2010	1.300	116	+	27,4	4,5	55,9	30,1	00:08	8	04:40	280	LiB
Samsung	C3750	2011	800	89	-	17,6	5,0	30,4	35,5	00:05	5	05:10	310	LiB
Samsung	Nexus S	2011	1.500	129	+	30,4	13,5	28,7	66,3	00:05	5	06:33	393	LiB
Samsung	Galaxy Core Plus SM-G350	2013	1.800	132,5	+	31,6	15,0	48,9	36,7	00:10	10	04:00	240	LiB
Samsung	Galaxy S4 Mini	2013	1.900	107	+	34,9	14,2	34,7	24,6	00:10	10	06:43	403	LiB
Samsung	Galaxy Note 4	2014	3.220	176	~	52,4	0,7	71,0	53,1	00:05	5	06:05	365	LiB
Samsung	Galaxy Ace 4	2014	1.900	126	~	33,7	0,4	50,6	40,1	00:03	3	04:55	295	LiB
Samsung	Xcover 550	2015	1.500	120	+	25,4	0,7	65,0	29,2	00:05	5	03:24	204	LiB
HTC	Desire HD	2010	1.230	164	+	25,6	21,2	6,7	111,3	00:09	9	04:45	285	LiB
HTC	Wildfire	2011	1.300	118	+	30,5	2,8	18,6	65,8	00:10	10	03:11	191	LiPo
HTC	Wildfire S	2011	1.230	105	+	25,2	2,0	16,3	61,2	00:06	6	03:54	234	LiB
HTC	Desire X	2012	1.650	114	+	29,9	0,2	22,7	62,0	00:25	25	06:31	391	LiB
HTC	One M8s	2015	2.840	160	+	42,5	28,8	0,8	86,0	07:49	469	11:54	714	LiPo
HTC	One M9 Prime Camera Edition	2016	2.840	158	+	41,9	29,0	0,4	85,3	06:00	360	08:00	480	LiPo
Motorola	RAZR V3	2004	64	95	~	16,3	12,9	10,8	49,9	00:03	3	08:21	501	LiB
Motorola	Defy	2010	1.500	118	+	28,5	0,7	40,0	40,8	00:05	5	02:03	123	LiPo
Fairphone	FP1	2013	2.000	165	~	40,4	26,6	12,1	86,0	00:03	3	08:24	504	LiB
Wiko	Getaway	2014	2.000	133	~	32,8	24,6	36,4	41,5	02:39	159	06:06	366	-

Handymodelle für Demontage (magdas RECYCLING) D.1														
Hersteller	Modelle	Jahr	Akku [mAh]	Gewicht [g]	Bewertung	Akku [g]	Metall [g]	Kunststoff [g]	Rest [g]	t _{Akku} [min:s]	t _{Akku} [s]	t _{Ges} [min:s]	t _{Ges} [s]	Batterietyp
Oukitel	K6000	2015	6.000	214	+	81,3	2,1	7,0	119,6	04:25	265	08:47	527	LiPo
Archos	59 Titanium	2014	2.600	130 Lit. 234 real	++	59,0	53,8	73,3	48,1	00:14	14	03:23	203	LiPo
CAT	B15	2013	2.000	170	+	42,6	7,2	48,3	49,9	00:06	6	02:39	159	LiB
elePhone	P9000	2015	3.000	170 Lit. 149 real	+	44,8	1,2	44,0	20,3	02:39	159	05:14	314	LiPo

Anhang 9

Handymodelle für Demontage (Sortierung) D.2														
Hersteller	Modell	Jahr	Akku [mAh]	Gewicht [g]	Bewertung	Akku [g]	Metall [g]	Kunststoff [g]	Rest [g]	t _{Akku} [min:s]	t _{Akku} [s]	t _{Ges} [min:s]	t _{Ges} [s]	Batterietyp
Nokia	3410	2002	825	114	+	31,7	0,6	45,8	33,6	00:19	19	01:44	104	LiB
Nokia	6230i	2005	850	99	+	22,8	5,3	38,6	31,6	00:04	4	01:08	68	ohne Akku
Nokia	5310	2008	860	70	~	18,5	0,3	13,6	37,5	00:04	4	02:24	144	LiB
Nokia	2730 classic	2009	1.020	87	+	22,5	0,5	28,7	29,5	00:03	3	01:25	85	LiB
Nokia	3720 classic	2009	1.050	94	+	22,1	2,2	40,9	28,7	00:06	6	03:30	210	LiB
Emporia	TalkComfort	2004	1.000	80	+	21,6	0,1	40,3	29,5	00:04	4	01:17	77	LiB
Samsung	GT-E1190	2011	800	71	+	17,4	0,2	32,9	20,3	00:03	3	03:10	190	LiB
Samsung	Galaxy mini	2011	1.200	109	+	25,2	0,2	39,3	44,0	00:04	4	01:59	119	LiB
Samsung	Corby II	2011	1.000	103	+	20,5	0,1	32,9	45,0	00:04	4	02:12	132	ohne Akku
Samsung	Galaxy S3 mini	2012	2.100	133	~	40,5	0,5	21,6	70,2	00:04	4	02:53	173	ohne Akku
Alcatel	One Touch 1013X	2014	500	60	+	15,0	0,5	31,0	14,1	00:04	4	00:54	54	LiB
Sony	T290a	2004	700	73	+	18,2	0,6	26,5	30,3	00:03	3	01:52	112	LiB

Handymodelle für Demontage (Sortierung) D.2														
Hersteller	Modell	Jahr	Akku [mAh]	Gewicht [g]	Bewertung	Akku [g]	Metall [g]	Kunststoff [g]	Rest [g]	t _{Akku} [min:s]	t _{Akku} [s]	t _{Ges} [min:s]	t _{Ges} [s]	Batterietyp
Audiovox (HTC)		2004		105,3 (gem.)	-	23,8	0,4	38,2	41,7	00:05	5	04:50	290	LiB

