

## WEEE komplex – Vielfältige Qualitätsanforderungen am Beispiel des Elektrokleingeräterecyclings

Gerhard Jokic und Denise Dortmann

1.	Begriffsbestimmungen .....	346
1.1.	Elektrokleingeräte .....	346
1.2.	Qualität.....	346
2.	Inputstoffstrom Elektrokleingeräte: Akteure auf dem Elektroaltgerätemarkt mit differierenden Interessen .....	347
3.	Elektrokleingeräterecycling: Beispielhafter Aufbereitungsprozess mit einem modularen Anlagenkonzept .....	348
3.1.	Modulare Anlagenkonzepte .....	348
3.2.	Vorbereiter .....	348
3.3.	Schadstoffentfrachtung.....	349
3.4.	Zerkleinerung.....	349
3.5.	Fraktionierung und Separation .....	349
4.	Zentrale Herausforderungen des Elektrokleingeräterecyclings.....	350
4.1.	Qualitätsanforderungen .....	350
4.1.1.	ElektroG und LAGA M31 .....	350
4.1.2.	WEEELABEX und CENELEC .....	351
4.1.3.	EPEAT .....	353
4.1.4.	R2 Responsible Recycling .....	354
4.2.	Volatile Rohstoffmärkte.....	355
4.3.	Mengenschwund .....	355
4.4.	Kurze Innovationszyklen im Bereich der Elektrokleingeräte .....	357
5.	Fazit.....	358
6.	Quellen .....	359

WEEE<sup>1</sup> komplex soll im Folgenden als Synonym der hohen Komplexität des Elektrozyclingmarktes verstanden werden, der durch unterschiedliche Stakeholder und Akteure mit verschiedenen Interessen charakterisiert ist. Sämtliche Ebenen und Aktionsfelder sind durch individuelle Herausforderungen gekennzeichnet, die es im operativen Tagesgeschäft sowie in der strategischen Ausrichtung zu bewältigen gilt. In dem Zusammenhang werden nachfolgend gesetzliche, technische sowie insbesondere qualitative Aspekte am Beispiel des Elektro- und Elektronikkleingeräterecyclings diskutiert. Die grundlegend in Deutschland zu erfüllenden Anforderungen sind im Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG) festgehalten. Darüber hinaus gibt es weiterführende und freiwillige Qualitätsanforderungen bzw. -standards, die individuell und auf vertraglicher Basis eingebunden werden können. In dem Zusammenhang können die gemäß aktuellem Stand freiwilligen Anforderungen und Standards über die im novellierten ElektroG implementierten Verordnungsermächtigungen nachträglich gesetzlich verpflichtend fixiert werden. Folgende Inhalte mit technischem und qualitätsbezogenem Fokus basieren vorrangig auf den Prozessen und der Qualitätsorientierung des Referenzunternehmens Remondis Electrorecycling GmbH.

## 1. Begriffsbestimmungen

### 1.1. Elektrokleingeräte

Elektrokleingeräte sind gemäß § 14 Absatz 1 ElektroG Haushaltskleingeräte, Informations- und Telekommunikationsgeräte, Geräte der Unterhaltungselektronik, Leuchten und sonstige Beleuchtungskörper sowie Geräte für die Ausbreitung oder Steuerung von Licht, elektrische und elektronische Werkzeuge, Spielzeuge, Sport- und Freizeitgeräte, Medizinprodukte sowie Überwachungs- und Kontrollinstrumente, die entsprechend des Gesetzes als Gruppe 5 deklariert sind. Die dieser Gruppe zuzuordnenden Geräte sind in Anlage 1 ElektroG in einer umfassenden – aber nicht abschließenden – Liste aufgeführt. Hinsichtlich der Erfassung der Geräte werden zwei separate Behältnisse und Transporteinheiten innerhalb der Gruppe 5 geführt, die sich gemäß § 14 Absatz 1 in eine Einheit mit batteriebetriebenen Altgeräten und eine Einheit mit Altgeräten ohne Batterien untergliedert.

Vor dem Hintergrund der Heterogenität der Elektrokleingeräte und der damit verbundenen Komplexität der Fraktion soll diese im Folgenden im Diskussionsfokus stehen.

### 1.2. Qualität

Der Qualitätsbegriff entstammt dem lateinischen Begriff *qualitas*, der übersetzt *Beschaffenheit, Eigenschaft, Güte oder Wert* bedeutet.

<sup>1</sup> WEEE: waste electrical and electronic equipment; Elektro- und Elektronikaltgeräte

Die Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. (DGQ) verweist auf das Deutsche Institut für Normung und damit auf die in der DIN EN ISO 9000 (Qualitätsmanagementnorm) verankerte Definition, die Qualität als *Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Forderungen erfüllt* versteht.

## 2. Inputstoffstrom Elektrokleingeräte: Akteure auf dem Elektroaltgerätemarkt mit differierenden Interessen

Im Folgenden gilt es zwischen *vom Gesetz vorgesehenen* Akteuren und *nicht vom Gesetz vorgesehenen* Akteuren zu differenzieren. Die *vom Gesetz vorgesehenen* Akteure haben jeweils eine individuelle und im Gesetz verankerte Aufgabe bzw. Verpflichtung, während die *nicht vom Gesetz vorgesehenen* Akteure aufgrund der werthaltigen Fraktionen des Stoffstroms Interesse an dem Material bekunden. Gesetzlich verpflichtet und in § 3 ElektroG konkret definiert sind folgende Akteure, die mit dem physischen Stoffstrom in Kontakt sind:

- Hersteller / Bevollmächtigter,
- Vertreiber,
- öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger (öRE).

Weiterführend sind die

- Erstbehandlungsanlagen (§ 21 Absatz 1 ElektroG)

als Erfüllungsgehilfe der verpflichteten Akteure involviert, da die Erstbehandlung der Altgeräte gemäß § 21 Absatz 1 ElektroG ausschließlich durch zertifizierte Erstbehandlungsanlagen erfolgen darf.

Das ElektroG sieht eine geteilte Produktverantwortung vor, innerhalb der die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger gemäß § 13 ElektroG für die Sammlung der Elektro- und Elektronikaltgeräte aus privaten Haushalten zuständig sind und die Hersteller bzw. im Fall der Bevollmächtigung die Bevollmächtigten für die Behältergestellung gemäß § 15 ElektroG, den Transport sowie die fachgerechte Verwertung gemäß §§ 16 und 22 ElektroG verantwortlich sind. Weiterführend sind Vertreiber mit einer Verkaufs- oder Lagerfläche für Elektro- und Elektronikgeräte von mindestens 400 m<sup>2</sup> gemäß § 17 ElektroG einerseits im Rahmen der sogenannten 1:1-Rücknahme verpflichtet, beim Kauf eines neuen Elektro- oder Elektronikgerätes ein gleichartiges Gerät unentgeltlich zurückzunehmen und andererseits im Rahmen der 0:1-Rücknahme Kleingeräte < 25 cm längste Kantenlänge ohne den Kauf eines Neugerätes unentgeltlich zurückzunehmen.

Nicht vom Gesetz vorgesehene Akteure sind solche, die aufgrund der Werthaltigkeit einiger Bauteile und Fraktionen des Stoffstroms Interesse an dem Material zeigen.

Diese Akteure entwickeln vielfältige Strategien, um Zugriff auf die Stoffströme zu erhalten. Als zentrale Herausforderung gilt in diesem Zusammenhang die gesetzlich fixierte Schadstoffentfrachtung des Elektroaltgerätestromes, die in Anlage 4 (zu § 20 Absatz 2) des ElektroG *Selektive Behandlung von Werkstoffen und Bauteilen von*

*Altgeräten* konkretisiert ist, allerdings bei diesen Wegen nicht konsequent gewährleistet ist. Typische Vorgehensweisen illegaler Akteure sind neben der Entgegennahme/Abholung direkt aus dem Haushalt darüber hinaus illegales Abgreifen vor den kommunalen Wertstoffhöfen/Übergabestellen, Diebstahl und Beraubungen an den Wertstoffhöfen, die illegale Entnahme der Geräte aus dem Sperrmüll sowie Beraubungen und Diebstahl aus Elektroaltgerätecontainern (Depotcontainer), usw. Wesentliche Ursachen für den erheblichen Mengenschwund über diese Wege sind mangelnder Vollzug und mangelnde Nachverfolgung sowie eine fehlende Sensibilisierung der Bürger. Eine Konkretisierung der wesentlichen Herausforderung des Mengenschwundes folgt in 4.3.

### 3. Elektrokleingerätrecycling: Beispielhafter Aufbereitungsprozess mit einem modularen Anlagenkonzept

#### 3.1. Modulare Anlagenkonzepte

Modulare Anlagenkonzepte sind durch individuelle, in sich abgeschlossene Anlagenkomponenten gekennzeichnet, deren Abfolge – zumindest theoretisch – mit Umrüstzeiten veränderbar ist. Jedem Modul ist eine individuelle technische Funktion, beispielweise Zerkleinerung, Fraktionsseparation bzw. -abscheidung, zugeordnet, die jeweils einen Beitrag zur Wertschöpfungssteigerung bzw. Schadstoffseparation leistet. Je höher die generierte Sortenreinheit und Wertstofftiefe ist, desto besser ist in der Regel der Wertschöpfungsbeitrag. Die Einbindung der individuellen Anlagenmodule muss konsequent vor dem Hintergrund der zu erzielenden Vermarktungspreise ins Verhältnis zu den entstehenden Aufbereitungskosten gesetzt werden, um darauf basierend die beste Kosten-/Nutzen-Relation zu generieren. Modulare Anlagenkonzepte bieten allgemein den Vorteil, dass diese eine hohe Flexibilität einhergehend mit einer optimalen Reaktionsfähigkeit auf marktseitige und in der Regel temporäre Veränderungen ermöglichen. Einzelne Module können in späteren Ausbaustufen – entsprechend der Anforderungen – eingefügt, optimiert, verändert oder eliminiert werden. Des Weiteren können in modularen Strukturen etwaige Ausfallkosten minimiert werden, da verbleibende Komponenten unabhängig sind und diese bei Stillständen weiterhin genutzt werden können. Relevante Nachteile modularer Recyclinganlagenkonzepte sind einerseits größerer Platzbedarf sowie andererseits teilweise erhöhte Transport- und Handlungsaufwendungen durch die Materialaufgabe zwischen einzelnen Anlagenkomponenten. Weiterführend variiert teilweise der Durchsatz einzelner Module, insbesondere vor dem Hintergrund manueller Sortierleistungen, sodass Puffer zu implementieren sind.

Im Folgenden wird eine Auswahl potenziell relevanter Komponenten eines modularen Recyclingkonzeptes für Elektro- und Elektronikkleingeräte diskutiert.

#### 3.2. Vorbrecher

Vor der ersten mechanischen Behandlungsstufe ist zu prüfen, inwieweit sich eine vorgelagerte manuelle Schadstoffentfrachtung (Stufe 0) positiv auf die Endqualität der Fraktionen auswirken kann.

Der Inputstoffstrom der Elektro- und Elektronikkleingeräte wird zuerst einem Vorbrecher zugeführt, der das Material grob aufbricht. Entsprechend der Beschaffenheit des Inputmaterials wird der Vorbrecher hinsichtlich der Rotationsgeschwindigkeit sowie der Abstände der Rotorscheren angepasst.

Je nach Größe und Beschaffenheit des Inputmaterials in Verbindung mit dem Abstand der Scheren variiert die Abnutzung der Scheren.

Durch das Aufbrechen des Materials wird der Zugriff auf die im Stoffstrom enthaltenen und zu selektierenden Gemische, Bauteile, Wert- sowie Schadstoffe verbessert.

Ein- und Zweiwellenzerkleinerer können als typische Beispiele für Vorbrecher angeführt werden.

### 3.3. Schadstoffentfrachtung

Der heterogene Stoffstrom der Elektro- und Elektronikkleingeräte wird im nächsten Schritt einer ersten manuellen Vorsortierung zugeführt, damit die in Anlage 4 ElektroG genannten Stoffe, Gemische und Bauteile vor der mechanischen Behandlung umfassend eliminiert werden. In diesem Zusammenhang werden beispielsweise Batterien und Akkumulatoren, Elektrolyt-Kondensatoren > 25 mm, Leiterplatten > 10 cm<sup>2</sup>, Tonerkartuschen und Farbtoner, quecksilberhaltige Bauteile sowie externe elektrische Leitungen (nicht abschließende Auflistung) dem Stoffstrom manuell entnommen.

### 3.4. Zerkleinerung

Der Vorbrecher, beispielsweise in Form eines Zweiwellenzerkleinerers, dient entsprechend vorheriger Erläuterungen der Zerkleinerung des Stoffstroms durch langsam rotierende Wellen. Der Begriff *Rotorschere* wird in der Praxis häufig synonym mit der Bezeichnung *Vorbrecher* verwendet. Rotorscheren können je nach Anforderungsprofil in der Recyclingpraxis unterschiedlich ausgestaltet sein. Je nach Stoffstrom werden Zwei- oder Vierwellenzerkleinerer oder Vertikalschredder eingesetzt, die das Material in eine zu definierende Zielgröße zerkleinern.

Bevor der Stoffstrom dem Granulator zugeführt wird, werden in einer zweiten manuellen Sortierung Störstoffe, wie massive Stahl- und Nichteisenmetalle, aussortiert. Mithilfe eines integrierten Siebs mit einer individuell festzulegenden Lochweite wird der Stoffstrom mithilfe des Granulators zerkleinert und granuliert, d.h. zu einem hinsichtlich der Größe homogenen Granulat verarbeitet.

### 3.5. Fraktionierung und Separation

Je nach implementierter Prozessabfolge wird zunächst mittels Vibrationstechnik eventuell generierte Kupferwolle, die im vorherigen Zerkleinerungsvorgang entstanden ist, ausgeschleust.

Durch den Einsatz eines Zick-Zack-Sichters im nächsten Schritt werden flugfähige Reststoffe, d.h. leichte Fraktionsbestandteile, wie insbesondere Folien, Wolle und Stäube, aus dem Stoffstrom abgeschieden. Unter Verwendung des Zick-Zack-Sichters

als eine spezielle Form des Schwerkraftsichters wird das Leichtgut vom Schwergut des Stoffstromes separiert, indem in verschiedenen Stufen unterschiedliche Sinkgeschwindigkeiten und damit einhergehend Gewichte der Partikel verglichen werden.

Die Metallabscheidung der Eisenmetalle (Fe) kann beispielsweise durch den Einsatz von Überbandmagneten oder Metalldetektoren erfolgen, während die Nichteisenmetalle (NE) mithilfe eines Wirbelstromabscheiders vom Reststoffstrom isoliert werden können. Weiterführend können Edelmetalle und Verbundstoffe durch Induktionstrennverfahren separiert werden.

So genannte sensorgestützte Sortierlösungen dienen der Bereinigung von Metallfraktionen. Mithilfe einer optischen Sortierung können vordefinierte Farben, Formen und Metalle aus dem Reststoffstrom abgeschieden werden. Durch sensible Detektoren bzw. Sensoren in Verbindung mit hochauflösenden Kameras werden vorab definierte Fraktionen, wie beispielsweise Leiterkarten, aus dem Stoffstrom zunächst erkannt und anschließend mithilfe einer pneumatischen Ventilbank aus dem Reststoffstrom hinaus geschossen. Je höher die Empfindlichkeit der Sensoren und je besser die Farberkennung sowie die Auflösung der Kameras ist, desto höher ist die final erzielte Sortenreinheit.

Zur Zerkleinerung und Feinfraktionierung der NE-Metalle, wie z.B. Aluminium und Kupfer, können diese anschließend optional einer Hammermühle zugeführt werden. Durch die geschlossene Bauweise der Hammermühle ist eine emissionsarme Zerkleinerung und Separation der Nichteisenmetalle möglich. Die Hammermühle zerkleinert das Material mithilfe von kinetischer Schlagwirkung. Im Zerkleinerungsbereich treffen die NE-Metalle auf rotierende Hämmer. Das Mahlgut verbleibt in der Zerkleinerung, bis es aufgrund seines Rollverhaltens die Zerkleinerungszone verlässt. Durch die Implementierung unterschiedlicher Siebe und Lochweiten können unterschiedlich feine NE-Fraktionen generiert werden. Alternativ können die Nichteisenmetall-Gemische in weiterführenden Aufbereitungsschritten separiert werden.

Außerdem kann eine verbesserte Qualität der Kunststofffraktion durch die Eliminierung von Restanhaftungen mithilfe von Induktionstrennverfahren erzielt werden. Ferner kann mithilfe des Einsatzes von Dichtentrennung die Wertstofftiefe und Sortenreinheit von Kunststoffen weiterführend optimiert werden. Durch die Kombination von Nahinfrarotsensoren (NIR) und visuellen Spektrometer-Scannern (VIS) einerseits und Röntgentechnik andererseits, werden Verfahren genutzt, mittels derer verschiedene Kunststoffsorten getrennt werden können.

## 4. Zentrale Herausforderungen des Elektrokleingeräterecyclings

### 4.1. Qualitätsanforderungen

#### 4.1.1. ElektroG und LAGA M31

Das ElektroG (Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten – Elektro- und Elektronikgerätegesetz) ist die nationale Umsetzung der europäischen Richtlinie 2002/96/EG

über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE-Direktive). Das ElektroG trat in Deutschland erstmalig am 16. März 2005 in Kraft und ist am 24. Oktober 2015 in novellierter Fassung – mit wesentlichen Veränderungen – in Kraft getreten. Das ElektroG bildet damit die Basis sämtlicher Prozesse im Zusammenhang mit dem Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten in Deutschland und ist damit für alle involvierten Akteure rechtlich bindend. Das ElektroG verpflichtet die unter 2 genannten Akteure in variierendem Umfang und fokussiert zentral folgende übergeordnete Ziele:

- Ressourcenschonung und Abfallvermeidung,
- Umweltentlastung durch Wiederverwendung,
- Förderung eines hochwertigen Recyclings,
- Vermeidung illegaler Abfallexporte,
- Ausweitung der bestehenden Sammel- und Erfassungsstrukturen durch den Handel und
- Information der Endverbraucher über ökologisches Verhalten im Hinblick auf die Entledigung von Elektroaltgeräten.

Die übergeordneten Ziele sind im ElektroG durch spezielle Vorgaben konkretisiert, die anhand präziser Grenzwerte, wie beispielsweise Verwertungsquoten, Sammelziele usw. fixiert sind.

Die Abkürzung LAGA M31 steht für ein Merkblatt, welches von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall verfasst wurde und die Anforderungen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten in Form eines Leitfadens spezifiziert und Handlungsempfehlungen zur Umsetzung des Gesetzes bereithält. Die LAGA M31 kann in dem Zusammenhang auch als Auslegungshilfe des ElektroG verstanden werden, da die Inhalte des Gesetzes darin mit entsprechendem Praxisbezug operationalisiert und detailliert erläutert sind. Das Merkblatt stellt daraus resultierend praktikable Lösungen zur Verfügung, die im operativen Tagesgeschäft als bevorzugte Praxishilfe Anwendung finden.

Damit stellt das ElektroG in Verbindung mit dem LAGA Merkblatt 31 – als Leitfaden – die Basis in Bezug auf die Qualitätsanforderungen im Bereich des Elektro- und Elektronikaltgeräte-Recyclings in Deutschland dar. Aufgrund der Novellierung des ElektroG, das am 24. Oktober 2015 in aktualisierter Fassung in Kraft getreten ist, befindet sich das LAGA Merkblatt 31 derzeit ebenfalls in der Überarbeitung. Gemäß aktuellem Kenntnisstand wird davon ausgegangen, dass das modifizierte, dem novellierten Gesetz angepasste Merkblatt voraussichtlich Ende 2016 veröffentlicht wird. Eine Auswahl weiterführender – aktuell freiwilliger – Qualitätsstandards, die inzwischen oftmals im bilateralen Vertragsverhältnis zwischen Kunde und Recycler eingebunden werden, sollen im Folgenden konkretisiert werden.

### 4.1.2. WEEELABEX und CENELEC

Im September 2013 ist der Entwurf des europäischen CENELEC-Standards über die Sammlung, den Transport sowie die Behandlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten veröffentlicht worden. Das Dokument forciert die Implementierung und Durchsetzung

einheitlicher Behandlungsstandards beim Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten in den Mitgliedsländern der EU. Zentrale Ziele des CENELEC-Standards sind Folgende:

- Effektive sowie effiziente Behandlung und Entsorgung von WEEE zur Vorbeugung von Umweltverschmutzungen und Eindämmung von Emissionen,
- Vorantreiben der stofflichen Verwertung,
- Förderung qualitativ hochwertiger Verwertungsverfahren,
- Vermeidung unangemessener Beseitigung von Elektro- und Elektronikaltgeräten sowie der Bauteile,
- Schutz der menschlichen Gesundheit sowie Umwelt und
- Vermeidung der Weitergabe von Elektro- und Elektronikaltgeräten an Akteure, die die Vorgaben dieses normativen Dokumentes nicht einhalten und damit keine vergleichbaren Anforderungen erfüllen.

Der Begriff *WEEELABEX* steht für WEEE Label of Excellence und galt in der Historie als ein Auditierungsstandard. Gemäß des aktuellen Kenntnisstandes ist davon auszugehen, dass *WEEELABEX* zukünftig in eine Art von Prüfungsorganisation – in Analogie zu TÜV und Dekra – überführt wird, die auf Basis von Regelwerken Auditoren schult sowie Anlagen prüft und auditiert. Die ursprünglichen Inhalte des *WEEELABEX*-Standards sind in die CENELEC<sup>2</sup>-Norm eingeflossen und werden kontinuierlich im weiteren Normungsprozess modifiziert. Demzufolge befindet sich die CENELEC-Norm EN 50625 in ihrer Gesamtheit aktuell im Entwurfsstatus. Die DIN EN 50574 mit dem Schwerpunkt des Kühlgeräterecyclings stellt einen bereits bestehenden und in der Praxis geforderten Standard dar, der derzeit in die EN 50625 transferiert wird. Nach der Finalisierung des Entwurfs entscheiden die individuellen nationalen Komitees über die Inhalte der CENELEC-Norm. Über die Einbindung in nationales Recht, wie beispielsweise durch die Verordnungsermächtigungen in das ElektroG, entscheidet final eine unabhängige, nationale Kommission.

Bei der derzeitigen Modifizierung des Entwurfs wirken Mitglieder der verschiedenen Länder mit. In Bezug auf die CENELEC-Norm gilt es zwischen verschiedenen Hierarchieebenen zu differenzieren. Die oberste Ebene ist die der Europäischen Norm (EN), die den Rahmen bzw. Mantel bildet und die fundamentalen Anforderungen regelt. In der darunter liegenden Hierarchieebene sind die Technischen Spezifikationen (TS) angesiedelt. Diese konkretisieren die Inhalte der EN, die dadurch kurzfristiger sind und mithilfe derer flexibler auf Marktveränderungen reagiert werden soll. Aufgrund kontinuierlicher Innovationen im Markt für Elektro- und Elektronikaltgeräte, die insbesondere auch durch kürzer werdende Produktlebenszyklen der Elektro- und Elektronikgeräte bedingt sind, ist diese Flexibilität unbedingt erforderlich. Die nächste Ebene beinhaltet die technischen Berichte (TR: technical reports). Hierbei handelt es sich nicht mehr um normative, d.h. bindende Inhalte, sondern um Richtwerte. In der untersten Ebene sind Konsensus-Dokumente als Resultat von in Arbeitsgruppen getroffenen Vereinbarungen fixiert.

<sup>2</sup> CENELEC: Comité Européen de Normalisation Électrotechnique



Mit Inkrafttreten der novellierten Fassung des Gesetzes über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG) am 24. Oktober 2015 sind Verordnungsermächtigungen implementiert worden, die dazu dienen, weiterführende Qualitätsanforderungen und -standards nachträglich in das Gesetz einzubinden. In dem Zusammenhang lautet beispielsweise § 24 ElektroG *Die Bundesregierung wird ermächtigt, durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates [...], 2. weiter gehende Anforderungen an die Behandlung von Altgeräten, einschließlich der Verwertung, des Recyclings und der Vorbereitung zur Wiederverwendung, sowie Anforderungen an den Schutz personenbezogener Daten bei der Wiederverwendung, [...] festzulegen.* Auf Basis dessen sollen diese genutzt werden, um das Gesetz permanent den aktuellen Gegebenheiten und marktrelevanten Erfordernissen anzupassen. In Arbeitsgruppen wird kontinuierlich der aktuelle Status in Bezug auf unterschiedliche Themen erhoben, sodass das Gesetz – basierend auf laufenden Überprüfungen (on-going process) – konsequent dem aktuellen Stand der Technik (state-of-the-art) entspricht. In dem Zusammenhang sind die Verordnungsermächtigungen als substanzieller Vorteil im Zusammenhang mit der state-of-the-art-Thematik zu bewerten.

### 4.1.3. EPEAT

Die Abkürzung EPEAT steht für Electronic Product Environmental Assessment Tool und dient der Unterstützung bei dem Kauf umweltfreundlicher EDV- und Computersysteme. EPEAT wurde von der US-amerikanischen Umweltbehörde in Kooperation mit Vertretern der IT-Industrie, der Entsorgungsindustrie und Umweltschützern initiiert. EPEAT ist ein Programm des Green Electronics Council. Die EPEAT-Audits erfolgen anhand von 51 Kriterien, mithilfe derer Produkte insbesondere hinsichtlich der Eigenschaften *Effizienz* und *Nachhaltigkeit* evaluiert werden. Es handelt sich um 23 notwendige und 28 optionale Kriterien. Auf Basis der Bewertung werden die Produkte in die Klassen *Gold*, *Silber* und *Bronze* kategorisiert.

EPEAT unterstützt Hersteller, die Umweltverträglichkeit ihrer Produkte darzustellen sowie eine ökologische Produktentwicklung herauszustellen. Im Fokus der Bewertungen stehen IT-Geräte, wie Computer, Bildschirmgeräte und Notebooks bzw. Laptops. In erster Linie dient EPEAT der Entscheidungsunterstützung umweltbewusster Käufer. Ziel ist, die nachhaltige Entwicklung von Produkten zu optimieren, indem verschiedenste Stakeholder involviert werden. Seit 2014 ist EPEAT in 43 Ländern implementiert.

EPEAT betrachtet den gesamten Produktlebenszyklus eines IT-Gerätes vom Design bis zur Entsorgung und nimmt in dem Zusammenhang insbesondere auch die Recyclingfreundlichkeit in den Fokus. Es handelt sich darauf basierend um einen ganzheitlichen Ansatz, der am Ende des Produktlebenszyklus das Recycling bis in dritte Ebene innerhalb der Wertschöpfung betrachtet. Die Recyclingfreundlichkeit ergibt sich insbesondere durch die in der Produktion eingesetzten Rohstoffe und durch die Form der Zusammensetzung (Materialverbunde) dieser. Da die in der Produktion eingesetzten Rohstoffe im Wesentlichen das Recycling am Ende des Produktlebenszyklus determinieren, ist eine Rückkopplungswirkung gegeben. Die Recyclingwirtschaft kann die Recyclingfreundlichkeit einzelner Produkte und Geräte am besten beurteilen und

daraus resultierend Optimierungspotenziale anregen. In enger Verbindung damit steht die Ermittlung von Recycling- und Verwertungsquoten, die es kontinuierlich zu steigern gilt, um umweltfreundliche Geräte zu produzieren.

Damit ein Produkt in den USA behördlich sowie in Schulen und öffentlichen Einrichtungen eingesetzt werden darf, muss dieses EPEAT-zertifiziert sein.

Auf Basis dessen gilt EPEAT nicht als Ratingsystem für Recyclingunternehmen, sondern zur Bewertung von Herstellern, die IT-Geräte produzieren. Aufgrund der angeführten Rückkopplungswirkung und der hohen Bedeutung der Recyclingfreundlichkeit ist die Entsorgungswirtschaft allerdings mittelbar von diesen Qualitätsanforderungen betroffen, da die Aufbereitungsprozesse individuell auf den Input abzustimmen sind.

#### 4.1.4. R2 Responsible Recycling

Der R2 Standard konzentriert sich auf Unternehmen, die Elektro- und Elektronikgeräte reparieren und entsorgen und beinhaltet diverse Prozesse, Sicherheitsmaßnahmen und Dokumentationsanforderungen. R2 fokussiert im Wesentlichen die drei Säulen *Qualität, Sicherheit, Transparenz* und wird regelmäßig streng und unabhängig geprüft. Laut eigener Angabe der Non-Profit-Organisation *Sustainable Electronics Recycling International* (SERI) sind inzwischen mehr als 530 Anlagen in 21 Ländern R2-zertifiziert – mit steigender Tendenz. SERI engagiert sich insbesondere in den Bereichen Wiederverwendung, Reparatur und Recycling von Elektro- und Elektronikgeräten und ist die verantwortliche Organisation im Zusammenhang mit dem R2 Standard. Die Non-Profit-Organisation kooperiert mit einem Zusammenschluss von Partnern um weltweit das Bewusstsein für die Instandsetzung und das Recycling von Elektro- und Elektronikgeräten zu erhöhen.

Grundlegend soll mithilfe des R2 Standards ein Ansatz implementiert werden, der *Best-Practices* im Bereich *Elektro- und Elektronikgeräte-Reparatur und -Recycling* identifiziert, sammelt, vertreibt und überwacht. Der R2 Standard schafft Marktanreize für Recyclinganlagen um ökologische, gesundheits- und sicherheitsrelevante Abläufe zu etablieren, sodass die Arbeiter in den Anlagen, die umliegenden Gemeinden sowie die Umwelt unmittelbar davon profitieren. Durch die konsequente Bereitstellung von Wissen und Erkenntnissen sowie Anleitungen für die Reparatur und das Recycling von Elektro- und Elektronikgeräten, die in sämtlichen Anlagen Anwendung finden können, können Prozesse und Ansätze daraus abgeleitet und adaptiert werden. R2 kann demzufolge dazu dienen, Berichte über Optimierungen in der Produktion zu generieren, Aufzeichnungen zu erstellen sowie Sicherheitsmaßnahmen zu intensivieren. In dem Zusammenhang kann ein R2 Zertifikat unternehmensseitig der Differenzierung bzw. Abgrenzung vom Wettbewerb sowie als Zusatzleistung für potenzielle Kunden und Partner genutzt werden.

Der Materialstrom wird bei dem R2 Standard ganzheitlich betrachtet und die gesamte Recyclingkette wird – von der Anfallstelle über den Transport, die Lagerung, den Aufbereitungs- und Verwertungsprozess bis zu den nachgelagerten Verwertungsanlagen überwacht und kontrolliert. Dieses soll insbesondere dazu dienen, illegale Exporte zu vermeiden. Besonders im Fokus stehen Materialien mit erhöhtem Potenzial umweltgefährdend zu sein, wie beispielsweise Quecksilber, Batterien, Kathodenstrahlröhren, Kondensatoren und Leiterplatten.

## 4.2. Volatile Rohstoffmärkte

Bei der Elektrorecyclingbranche handelt es sich um einen sehr rohstoffintensiven Markt, der durch eine hohe Abhängigkeit von Volatilitäten charakterisiert ist. Im Gegensatz zu klassischen Produktionsunternehmen, die in der Regel ausschließlich auf der Beschaffungsseite von Rohstoffen abhängig sind, sind Recyclingunternehmen sowohl im Input als auch im Output von den weltweiten Rohstoffmärkten abhängig. Einerseits bietet dies den Vorteil, dass Risiken zumindest teilweise entlang der gesamten Kette weitergegeben werden können, andererseits besteht dadurch eine höhere Unsicherheit, da weder auf der Beschaffungs- noch auf der Vertriebsseite Konstanz gegeben ist. Hinsichtlich der Weitergabe bzw. Übertragung von Risiken werden in der Recyclingbranche vielfach Indizierungen eingesetzt, mittels derer Preise an das schwankende Rohstoffpreisniveau gekoppelt werden. Dadurch kann – zumindest teilweise – eine Risikoübertragung vom Recycler auf die produktverantwortlichen Hersteller erzielt werden. Da eine umfassende Implementierung von Rohstoffindizes innerhalb der Preisgestaltung nicht immer erfolgreich ist, verbleibt dennoch ein hohes Risiko, welches aus dem volatilen Rohstoffpreisniveau resultiert, bei dem Entsorger. Auf Basis dessen ist der Erfolg der Recycler weiterhin eng mit der jeweils aktuellen Situation auf den internationalen Rohstoffmärkten verbunden.

Damit einhergehend ist ein hohes Investitionsrisiko auf der Entsorgerseite verbunden. Als zentrale Herausforderung gilt neben den volatilen Rohstoffpreisen die Inputsicherheit der Erstbehandlungsanlagen. Sämtliche Beteiligte des gesamten Prozesses sind von den volatilen Rohstoffpreisen betroffen, insbesondere wenn Konditionen indiziert sind. Bei fix vereinbarten Konditionen verbleibt das Risiko bei dem Entsorger.

Vor dem Hintergrund des derzeit kontinuierlich sinkenden Rohstoffpreisniveaus, z.B. im Bereich Stahl usw., steigt der Druck sämtlicher Beteiligter zunehmend an. Aufgrund des steigenden Kostendrucks auf die Verpflichteten werden innovative Ansätze in Erwägung gezogen, die die Inputsicherheit weiter gefährden und das damit verbundene Investitionsrisiko ebenfalls erhöhen. In dem Zusammenhang werden Ideen, wie beispielsweise webbasierte Auktionsplattformen für Elektro- und Elektronikaltgeräte in Betracht gezogen, über die das Material an meistbietende Erstbehandlungsanlagen vergeben wird. Mit einer etwaigen Implementierung solcher Systeme geht ein Verschwinden der kontinuierlichen Inputsicherheit einher, wodurch in der Konsequenz darüber hinaus Investitionen gehemmt werden. Da Investitionen allerdings zwingend erforderlich sind, um die hohen Qualitätsanforderungen und -standards zu erfüllen, gilt es diesen Ansatz kritisch zu prüfen.

## 4.3. Mengenschwund

Eine besondere Herausforderung im Bereich des Recyclings von Elektro- und Elektronikgeräten ist der erhebliche Mengenschwund der Geräte, der auf vielfältige Gründe zurückzuführen ist. Insbesondere die werthaltigen Bestandteile von Elektro- und Elektronikaltgeräten wecken Begehrlichkeiten bei unterschiedlichen Akteuren, sodass die Geräte häufig illegale Wege nehmen. Die Elektro- und Elektronikaltgeräte, derer sich die Bürger der privaten Haushalte im Rahmen kommunaler Sammlungen oder an den kommunalen Übergabestellen entledigen wollen, sind teilweise Ziel von Beraubungen

und illegalem Abgriff. Eine zentrale Schwierigkeit bei kommunalen Sammlungen (Hol-Services) ist, dass die Geräte in der Regel nicht aus dem Haushalt geholt werden, sondern im Rahmen der Sperrmüllsammlung frei zugänglich an die Straße gestellt werden. Gleichmaßen werden Geräte teilweise illegal vor den kommunalen Übergabestellen abgegriffen. Dies ist insbesondere auf eine mangelnde Sensibilisierung der Bürger zurückzuführen, die nicht ausreichend über zulässige und unzulässige Wege und über die damit einhergehenden Konsequenzen informiert sind. Darüber hinaus stellt insbesondere die Entsorgung von Elektro- und Elektronikkleingeräten über den Haushaltsabfall bzw. Restabfall einen wesentlichen Grund für den hohen Mengenschwund innerhalb der Sammelgruppe der Kleingeräte dar, der auf eine mangelnde Unterrichtung der Bürger zurückzuführen ist.

Weiterführend haben diverse Erhebungen ergeben, dass insbesondere Kleingeräte mit persönlichen Daten, wie beispielsweise Mobiltelefone, oftmals über Jahre von den Besitzern aufbewahrt werden und demzufolge in Schubladen und Schränken liegen bleiben, ohne dass die Potenziale der in den Geräten vorhandenen Sekundärrohstoffe adäquat genutzt werden können. Die hohe emotionale Komponente mit dem Gerät an sich sowie in Verbindung mit den persönlichen Daten stellen relevante Barrieren für den Nutzer dar, sodass die Geräte nicht über vorgesehene Wege zurückfließen. Daraus resultierend bleiben relevante Potenziale ungenutzt, da die damit verbundenen Sekundärrohstoffe nicht erneut zur Schließung von Stoffkreisläufen eingesetzt werden können. Diese Herausforderung ist insbesondere bei Kleingeräten von hoher Bedeutung, da diese aufgrund der geringen Größe keine nennenswerten platzbezogenen Ressourcen im privaten Haushalt erfordern. Vor dem Hintergrund werden die Geräte bevorzugt aufbewahrt anstatt sie den korrekten Wegen zuzuführen, wodurch eine nachgelagerte Aufbereitung des Gerätes und Gewinnung von Sekundärrohstoffen ausbleibt und demnach keine natürlichen Ressourcen geschont werden.

Teilweise werden Geräte darüber hinaus mit dem Vorwand der Wiederverwendung ins Ausland exportiert. Generell ist die möglichst weite Ausdehnung des Produktlebenszyklus von Elektro- und Elektronikgeräten vor dem Hintergrund der Ressourcenschonung sehr zu begrüßen. Allerdings stellen noch funktionsfähige Geräte, deren Lebenszyklus durch eine zweite Nutzung im Ausland verlängert werden kann, dahingehend ein Problem dar, dass diese in der Regel bereits einige Jahre genutzt worden sind und dementsprechend eine gewisse Abnutzung festzustellen ist. Aufgrund dessen ist die Lebensdauer *im zweiten Leben* in der Regel deutlich eingeschränkt. Sobald die Geräte allerdings den Weg in das Ausland gefunden haben, ist keine adäquate Verwertung mehr gewährleistet. Somit werden die Geräte nach kurzer Zeit hinsichtlich der Wertstoffe beraubt, während allerdings keine umweltgerechte und nicht gesundheitsschädigende Entsorgung der Schadstoffe sichergestellt werden kann. Eine Eindämmung dessen konnte sicherlich durch die Einführung der Beweislastumkehr erzielt werden. Mit Inkrafttreten des novellierten ElektroG am 24. Oktober 2015 ist diese nun geltendes Recht. Der Exporteur eines Gerätes muss seitdem belegen, dass es sich bei den zu exportierenden Geräten um funktionsfähige Gebrauchtgeräte handelt, bei denen die Abfalleigenschaft noch nicht eingetreten ist. Die umfassenden Anforderungen an die Verbringung sind in Anlage 6 des ElektroG zu § 23 Absatz 1 ElektroG konkretisiert.

Die Differenzen zwischen den seitens der stiftung ear, als Gemeinsame Stelle, erfassten Inputmengen (POM; put on the market) sowie Rücknahmemengen sind sehr hoch. Folgende tabellarische Übersicht zeigt die deutlichen Abweichungen im Bereich der hier fokussierten Haushaltskleingeräte:

Input- vs. Rücknahmemengen der stiftung ear

Inputmengen (je Gerätart/a)    Gerätekategorien 2, 5, 6, 7, 8 und 9  
 Rücknahmemengen                    Sammelgruppe 5  
 je Sammelgruppe

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>Inputmengen (je Gerätart/a)</b>	<b>291.273,97</b>	<b>387.626,92</b>	<b>318.985,27</b>	<b>307.139,37</b>	<b>319.659,44</b>	<b>358.215,12</b>
B2C - AHK	34.563,0 t	45.503,0 t	30.379,0 t	20.918,0 t	13.970,0 t	11.343,0 t
B2C - ER	6.673,0 t	5.378,0 t	3.670,0 t	2.368,0 t	2.151,0 t	2.435,0 t
prF - EV	122.262,0 t	50.601,0 t	55.627,0 t	68.819,0 t	80.336,0 t	86.701,0 t
Summe	163.498,0 t	101.482,0 t	89.676,0 t	92.105,0 t	96.457,0 t	100.479,0 t
GAP	-127.775,97 t	-286.144,92 t	-229.309,27 t	-215.034,37 t	-223.202,44 t	-257.736,12 t
	56,1 %	26,2 %	28,1 %	30,0 %	30,2 %	28,0 %

AHK: Abholkoordination    ER: Eigenrücknahme    EV: Eigenvermarktung

Bild 1: Mengenabweichungen zwischen Input- und Rücknahmemengen bei Haushaltskleingeräten

Quellen:

<https://www.stiftung-ear.de/service/kennzahlen/inputmengen-je-geraetaerta/a/>

<https://www.stiftung-ear.de/service/kennzahlen/ruecknahmemengen-je-sammelgruppe/>

#### 4.4. Kurze Innovationszyklen im Bereich der Elektrokleingeräte

Der Markt der Elektro- und Elektronikgeräte ist durch eine hohe Innovationskraft und zunehmend kürzer werdende Produktlebenszyklen charakterisiert, da insbesondere in dieser Branche permanent neue Technologien den Markt revolutionieren. Die Elektrorecyclingbranche muss ihre Prozesse darauf basierend kontinuierlich den sich ändernden Produkten und Produktzusammensetzungen anpassen und flexibel auf sich ändernde Marktgegebenheiten und -rahmenbedingungen reagieren können. In dem Zusammenhang werden beispielsweise regelmäßig die eingesetzten Materialien verändert und substituiert. Insbesondere im Bereich der Elektrokleingeräte, IT und Unterhaltungselektronik werden die Produkte im Zeitverlauf kleiner, leichter und kompakter. In der Konsequenz werden alternative Rohstoffe und Materialien eingesetzt, die neue Anforderungen an die Recyclingtechnik stellen und durch geänderte Eigenschaften und Spezifikationen gekennzeichnet sind. Beispielsweise bieten Kunststoffe eine höhere Flexibilität im Bereich der Formgebung und Bearbeitung des Materials, sodass diese verstärkt eingesetzt werden. Weiterführend werden zunehmend häufiger Metalle durch Kunststoffe ersetzt, da sie einerseits vielfach günstiger und andererseits leichter sind. Daraus resultierend machen Kunststoffe anteilmäßig inzwischen bereits bis zu 30 Prozent der Haushaltskleingeräte (Gruppe 5 gemäß ElektroG) aus. Des Weiteren wird damit einhergehend eine steigende Heterogenität innerhalb der Fraktion der Kunststoffe festgestellt. In Verbindung damit ist z.B. die Dichte der verschiedenen Kunststoffarten sehr unterschiedlich. Eine wichtige Herausforderung, resultierend aus der Zusammensetzung des Inputstoffstromes der Elektro- und Elektronikaltgeräte in Bezug auf den technischen Aufbereitungsprozess, zeigt sich beispielsweise dadurch,

dass eine Dichtentrennung bei der steigenden Heterogenität – und damit einhergehenden Überlappungen der Materialdichten – der Kunststoffe nicht immer geeignet ist, um diese in einer hohen Sortenreinheit zu separieren.

Widersprüchlich ist in dem Zusammenhang, dass trotz der veränderten Inputstoffströme und des zunehmend steigenden Kunststoffanteils basierend auf der vorgenannten Problematik erhöhte Verwertungsquoten gesetzlich gefordert werden. Durch eine Substitution von Metallen durch verschiedenartige Kunststoffe kann eine stoffliche Verwertung nicht in der Höhe erreicht werden, wie diese im Bereich der eindeutig separierbaren Metalle realisiert werden kann.

## 5. Fazit

Das ElektroG bildet das gesetzliche Fundament im Bereich des Recyclings von Elektro- und Elektronikgeräten in Deutschland. Die am 24. Oktober 2015 novelliert in Kraft getretene Fassung des ElektroG beinhaltet umfassende Verordnungsermächtigungen, mittels derer weiterführende – aktuell privatrechtliche – Standards nachträglich rechtlich bindend implementiert werden können. Die in das Gesetz eingebundenen Verordnungsermächtigungen signalisieren eine verstärkte Qualitätsorientierung, die einhergehend mit dem Gesetz angestrebt wird. Auch die Existenz sehr vielfältiger, individueller Qualitätsstandards betont die hohe Qualitätsrelevanz sowie das zunehmend steigende Qualitätsniveau beim Recycling von WEEE. Über das ElektroG und das LAGA Merkblatt 31 hinausgehende Qualitätsstandards sind in Deutschland derzeit vorrangig auf bilateraler Kontraktebene zwischen dem produktverantwortlichen Hersteller bzw. Rücknahmesystem und dem Recycler vereinbart. In jedem Fall werden die rechtliche Umsetzung sowie der behördliche Durchgriff im Falle der Nichteinhaltung entscheidend sein.

Im Rahmen vorausgegangener Erläuterungen ist ein potenzieller, modularer Aufbereitungsprozess am Beispiel von Elektrokleingeräten dargelegt worden, der als exemplarisches Beispiel gelten kann. Der Prozess ist durch die modulartige Zusammensetzung von Aufbereitungsschritten sehr flexibel und durch eine hohe Anpassungsfähigkeit gekennzeichnet. Aufgrund der sich permanent ändernden Inputmaterialien und Zusammensetzungen der Geräte ist eine regelmäßige Anpassung der Recyclingtechnologien an die Markt- und Qualitätserfordernisse unbedingt erforderlich, insbesondere vor dem Hintergrund verkürzter Innovationszyklen und ständig neuer Technik im Bereich der Elektro- und Elektronikgeräte. Demzufolge handelt es sich bei den hier angeführten Aufbereitungsschritten um einen möglichen Anlagenaufbau, der allerdings nicht als abschließend bzw. ganzheitlich zu bewerten ist.

Die Herausforderungen des Elektrokleingeräterecyclings sind vielschichtig und interdisziplinär. Das volatile Rohstoffpreisniveau stellt insbesondere dahingehend eine Herausforderung dar, dass damit ein hohes Investitionsrisiko in neue Recyclingtechnologien aufgrund permanent steigender Qualitätsanforderungen einhergeht. Das derzeit erheblich sinkende Rohstoff- und Sekundärrohstoffpreisniveau einerseits und die kontinuierlich steigenden Qualitätsanforderungen andererseits stellen ebenfalls zwei inkompatible Faktoren dar.



Weiterführend stellt der Mengenschwund insbesondere im Bereich der Elektroklein- geräte eine relevante Herausforderung dar, da die Geräte aufgrund der Werthaltigkeit oftmals beraubt und illegal abgegriffen werden. Außerdem werden insbesondere Elek- trokleingeräte teilweise weiterhin aufgrund mangelnder Sensibilisierung der Bürger über den Restabfall entsorgt. In dem Zusammenhang gilt insbesondere der Vollzug als eine bedeutsame und zu intensivierende Aufgabe.

Einhergehend mit den kürzeren Innovationszyklen und der sich stetig ändernden Technik werden im Rahmen der Produktion von Elektro- und Elektronikgeräten zunehmend mehr Materialien durch andere Stoffe substituiert. Gründe sind insbesondere Kosteneffizienz bei gleichzeitig steigenden Leistungsanforderungen an die Produkte. Zuvor genannte Aspekte gelten als zentrale Herausforderungen, mit denen sich die Recyclingwirtschaft konfrontiert sieht. Als relevantes Paradoxon gilt, dass einerseits das Inputmaterial zuneh- mend heterogener wird sowie verstärkt Verbundstoffe eingesetzt werden und andererseits die Tatsache, dass mit der Novellierung des ElektroG erhöhte Recyclinganforderungen in Verbindung mit gestiegenen Recycling- und Verwertungsquoten gemäß § 22 ElektroG gesetzlich verpflichtend sind. In dem Zusammenhang werden sogar anscheinend ho- mogene Stoffe, wie beispielsweise Kunststoffe, zunehmend heterogener und sind damit durch unterschiedliche Stoffspezifikationen, wie beispielsweise variierende Dichtewerte, gekennzeichnet. Daraus resultierend können genutzte Aufbereitungsprozesse, wie z.B. Dichtentrennverfahren weniger adäquat eingesetzt werden.

## 6. Quellen

- [1] Deutsche Gesellschaft für Qualität: Qualität, online im Internet: <http://www.dgq.de/service/faq/wissen/>, Abruf am 24.11.2015
- [2] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 9001:2005 (2015-09): Qualitätsmanagement- norm, 2015
- [3] Digital Media Products GmbH: Wertvoller Elektroschrott – 100 Millionen Alt-Handys liegen un- genutzt zu Hause, online im Internet: [http://www.t-online.de/handy/smartphone/id\\_73505810/millionen-alt-handys-liegen-ungenutzt-zu-hause.html](http://www.t-online.de/handy/smartphone/id_73505810/millionen-alt-handys-liegen-ungenutzt-zu-hause.html), Abruf am 19.11.2015
- [4] European Electronics Recyclers Association (eera), (2013): Final Draft – Collection, logistics & treatment requirements for WEEE, online im Internet: <http://www.eera-recyclers.com/sites/default/files/FprEN50625-1%20General%20Treatment%20standard%20.pdf>, Abruf am 19.11.2015
- [5] EUWID Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH: Expertenberichte für Stahlschrott, Ausgabe 45.2015, S. 24.
- [6] Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1739), das durch Artikel 3 der Verordnung vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1739) geändert worden ist
- [7] Green Electronics Council (2015): EPEAT, online im Internet: <http://www.epeat.net/>, Abruf am 02.12.2015
- [8] Kuhn, Mareike: Zwei für Europa, in: RECYCLING Magazin 04/2013, S. 24.
- [9] Pastowski, S.: Messung der Dienstleistungsqualität in komplexen Marktstrukturen – Perspekti- ven für ein Qualitätsmanagement von Hochschulen, 2004, S. 36.

- [10] Remondis Electrorecycling GmbH: Prozessbeschreibungen Managementsysteme (firmeninterne Dokumentationen), Stand: November 2015
- [11] SERI Sustainable Electronics Recycling International: The R2 Story – R2-Standard-based safety and sustainability, online im Internet: <https://sustainableelectronics.org/r2-standard/history-and-background>, Abruf am 02.12.2015
- [12] SERI Sustainable Electronics Recycling International: What is SERI? What is R2, online im Internet: <https://sustainableelectronics.org/>, Abruf am 02.12.2015
- [13] stiftung ear: Inputmengen je Geräteart, online im Internet: <https://www.stiftung-ear.de/service/kennzahlen/inputmengen-je-geraeteara/>, Abruf am 02.12.2015
- [14] stiftung ear: Rücknahmemengen je Sammelgruppe, online im Internet: <https://www.stiftung-ear.de/service/kennzahlen/ruecknahmemengen-je-sammelgruppe/>, Abruf am 02.12.2015
- [15] The Green IT Review, (2010): EPEAT announces collaboration with international standards and testing organisations, online im Internet: <http://www.thegreenitreview.com/2010/12/epeat-announces-collaboration-with.html>, Abruf am 02.12.2015
- [16] The White House, (2007): Executive Order: Strengthening Federal Environmental, Energy, and Transportation Management, online im Internet: <http://georgewbush-whitehouse.archives.gov/news/releases/2007/01/20070124-2.html>, Abruf am 02.12.2015